

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»

**ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ,
ЭНЕРГЕТИКИ
И УПРАВЛЕНИЯ**

**МАТЕРИАЛЫ
XVII Международной научно-технической
конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых**

Гомель, 27–28 апреля 2017 года

Гомель 2017

УДК 621.01+621.3+33+004(042.3)

ББК 30+65

И88

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, доц. *А. А. Бойко* (отв. редактор)

д-р техн. наук, проф. *М. И. Михайлов*

канд. техн. наук, доц. *Ю. Л. Бобарикин*

канд. техн. наук *А. О. Добродей*

канд. техн. наук, доц. *Ю. В. Крышнев*

д-р техн. наук, проф. *И. А. Мурашко*

канд. экон. наук, доц. *Н. П. Драгун*

канд. экон. наук, доц. *Е. А. Кожевников*

канд. экон. наук, доц. *О. В. Лапицкая*

Под общей редакцией д-ра техн. наук, доц. А. А. Бойко

Подготовка и проведение конференции осуществлены на базе
Гомельского государственного технического
университета имени П. О. Сухого

Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики
И88 и управления : материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 534 с.

ISBN 978-985-535-348-6.

Содержатся материалы XVII Международной научно-технической конференции по следующим направлениям: машиностроение; материаловедение и технология обработки материалов; энергетика; промышленная электроника; отраслевая экономика и промышленная политика; экономика и управление в агропромышленном комплексе; маркетинг и корпоративное управление; информационные технологии и моделирование.

Для студентов, аспирантов и молодых ученых.

УДК 621.01+621.3+33+004(042.3)

ББК 30+65

ISBN 978-985-535-348-6

© Оформление. Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Зализный Д. И. Диагностирование объектов энергетики по тепловым параметрам..... 11

Секция I. МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Туровец В. О.</i> Исследование параметрической модели детали	15
<i>Сацукевич А. А., Лобко Ю. А.</i> Применение экспертных оценок при разработке инновационных технологий в области машиностроения.....	18
<i>Калиниченко М. Л., Григорьев С. В., Калиниченко В. А.</i> Особенности крепления титановых промышленных сплавов с помощью адгезивов	21
<i>Савицкий В. С.</i> Экспериментальные исследования механизма управления фрикционными гидромеханической передачи карьерного самосвала.....	24
<i>Хорт А. А., Павлов К. М.</i> Разработка измерительного модуля для оценки фрикционных свойств полимерных материалов при граничной смазке	27
<i>Гутман Р. Е.</i> Метод оперативного определения физических свойств углеводородов.....	29
<i>Сиз Г. А., Жуковский А. М.</i> Пути повышения эффективности кавитационных пульсаторов для кислотных обработок нефтяных скважин.....	32
<i>Матвеев А. С.</i> Повышение эффективности работы эрлифтной установки.....	35
<i>Кривошеев П. О.</i> Анализ жидкостно-кольцевых вакуумных насосов.....	38
<i>Матиевский М. М.</i> Исследование системы автоматизированного программирования... ..	42
<i>Шеметов Ю. А.</i> Динамическое моделирование кантователей бунтов катанки и арматуры сортопрокатного цеха.....	45
<i>Петоченко М. И.</i> Влияние конструктивных особенностей LS-регулятора на его быстродействие	48
<i>Голубева Е. А., Аль-Абси Р. А.</i> Реализация расчета напряжения и деформации в трубе из композитов с учетом ползучести и релаксации	51
<i>Юркова В. Л., Якубович Д. Я.</i> Сравнительный анализ вариантов эксцентриковых передач с эксцентрично и наклонно расположенными сателлитами.....	54
<i>Мельниченко М. С.</i> Разгрузочные устройства роторов центробежных насосов	56
<i>Давыдов А. С.</i> Определение целесообразности применения методики расчета утечки через резиновые уплотнения штока при проектировании уплотнительного узла с использованием уплотнений из современных материалов.....	60
<i>Омелюсик А. В.</i> Учет эффекта упрочнения материала в углах балок прямоугольного сечения при моделировании процессов пластического деформирования.....	64
<i>Лисун А. Е.</i> Применение виртуальных систем ЧПУ для написания и тестирования управляющих программ для станков с ЧПУ	67
<i>Мамсик Д. А.</i> Влияние гидрораспределителя на движение поршня рабочего гидроцилиндра механизма поднятия секции косилки.....	70
<i>Кондрашова А. Н., Калиновский А. А.</i> Особенности применения различных схем механизмов поворота колес управляемого моста самоходных сельскохозяйственных машин	73
<i>Иванов Д. Н., Джасов Д. В.</i> Модернизация параметров системы выгрузки зерна самоходного зерноуборочного комбайна	76
<i>Кузьмич В. И.</i> Разработка конструкции вихревых головок для обработки ходовых винтов.....	79
<i>Усов Ю. С., Тагай Д. Н.</i> Исследование контактного взаимодействия в рабочей зоне алмазного выглаживания	82

**Секция II. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

<i>Кизина О. А.</i> Факторы, влияющие на интенсивность СВЧ-сушки пиломатериалов	87
<i>Солдатенко П. Н.</i> Электродная структура для формирования комбинированных низкоэнергетичных пучков заряженных частиц	90
<i>Мартьянов Ю. В.</i> Моделирование изгиба металлокорда перед намотом в деформирующих устройствах	93
<i>Крижевский И. М.</i> Влияние металлических наполнителей на теплофизические свойства фрикционных композитов	96
<i>Алексеев Н. Э.</i> Разработка подшипникового узла для рихтовочных устройств в метизном производстве	99
<i>Радькин Я. И.</i> Повышение стойкости прокатных валков и оправок при непрерывной раскатке черновых труб	102
<i>Давыдова О. В., Дробышевская Н. Е., Покаш Д. И.</i> Особенности термохимического синтеза порошков YAG : Ce ³⁺ , полученных горением в лимонной кислоте	105
<i>Давыдова О. В., Дробышевская Н. Е., Шиленкова В. Н.</i> Получение и исследование порошков оксида иттрия, активированного ионами тербия Y ₂ O ₃ : Tb ³⁺ (зеленый люминофор)	108
<i>Кирицина Е. И., Поздняков Е. П.</i> Структура и свойства поверхностных слоев стали 16CrMn5S, упрочненных цементацией	111
<i>Парецкая Е. А., Поздняков Е. П.</i> Влияние поверхностной модификации на градиент свойств и структуру поверхностного слоя стали 42CRMOS4	114
<i>Савченко С. А., Поздняков Е. П.</i> Влияние режимов науглероживания на морфологию модифицированного слоя стали 18ХГТ	118
<i>Плешкунов И. С., Поздняков Е. П.</i> Влияние криогенной обработки на контактную выносливость инструментальной углеродистой стали У8А	121
<i>Пешкун Ю. Н.</i> Сравнительный анализ закономерностей контактного изнашивания нитроцементованных слоев стали Р6М5 после их лазерной модификации	124
<i>Майоров А. А.</i> Прогноз риска аварии на опасном производственном объекте	127
<i>Шатило Л. Л., Прахоцкий Е. Г.</i> Разработка технологии производства высокотехнологичных литых изделий для нефтедобывающей отрасли	131
<i>Ковалев В. О.</i> Экспериментальное исследование электросопротивления при нагреве антифрикционных композиционных материалов	134
<i>Хохлов А. С.</i> Оптимизация технологических режимов получения фасонных утолщений на концевых участках арматурных стержней размерного ряда диаметров 16–40 миллиметров при помощи метода численного моделирования	137
<i>Башак Ф. М.</i> 3D-модель кривошипного пресса К2130В, выполненная в САПР КОМПАС-3D	140
<i>Казаков Е. Н.</i> Разработка системы калибровки прокатки арматуры № 35 из стали 25Г2С	144
<i>Навицкий И. Л.</i> Совершенствование технологии подготовки производства отливки «КОРПУС КВК0504201» с использованием методов компьютерного проектирования	147
<i>Иваницкая Д. И.</i> Дизайн-проект упаковки для набора парфюмерно-косметической продукции	150
<i>Карбовская В. А.</i> Неорганические связующие компоненты холоднотвердеющей смеси	153
<i>Яньшин М. Д.</i> Влияние технологических параметров при штамповке в закрытых штампах на точность получаемых изделий	156

Кореба Д. А. Возможности получения отливок на индукционной установке INDUTHERM VC-650-V	159
Дюбенков А. Г. Улучшение технологических параметров питания и качества отливок.....	162
Крижевский И. М. Влияние структуры на трибологические характеристики фрикционных полимерных композитов.....	164
Герасимов Ю. Л. К вопросу рациональной формы оправок для прошивки заготовок в косовалковом стане Дишера	168
Короткевич Е. В. Особенности процесса формирования и схватывания порошковых материалов.....	172
Стрельченко А. В. Исследование влияния геометрии ящичных калибров валков стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» на образование термоциклических трещин	175

Секция III. ЭНЕРГЕТИКА

Жеранов С. А. Выбор методики расчета электрической осветительной сети и реализация алгоритма программы для автоматизации проектирования осветительных установок	179
Кочемазов Д. С. Методика оптимальной эксплуатации электрических светильников по критерию минимума финансовых затрат	182
Куртикова Е. Н. Разработка шкафа частичного заземления нейтрали.....	184
Пастернак Е. А. Комплексный расчет внутризаводской системы электроснабжения 6–10 кВ	187
Левкина О. С. Область применения предохранителей ПКТ и ПКЭ для защиты понижающих трансформаторов напряжением 6–10/0,4 кВ	190
Внукова А. О. Особенности расчета нелинейных цепей переменного тока методом кусочно-линейной аппроксимации	192
Говор А. С., Какора В. В. Термоэлектрический генератор.....	195
Драко М. А. Системный подход к расчету и измерению значений наведенного напряжения.....	197
Сушкин Е. И. Анализ эффективности применения частотно-регулируемых приводов на ОАО «Гомельтранснефть «Дружба»	200
Облес Ю. В. Нагрузочная способность импульсных преобразователей напряжения... ..	203
Ключинский В. П. Расчет возможности применения ГТУ как способ повышения эффективности работы гомельской ТЭЦ-2 в межотопительный период	206
Яночкин П. С. Методы испытаний устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики и внедрение их в учебный процесс	209
Стелькин Ф. В. Оптимизация режима напряжения в линиях 330 кВ по критерию минимума потерь активной мощности.....	212
Мазаев Н. А. Учет количества электроэнергии, потребленной в различных диапазонах значений показателей качества электроэнергии	215
Чашечкин И. В. Методы получения сигналов с широтно-импульсной модуляцией... ..	218
Шеметова Е. В. Экспериментальные исследования качества топлива на автозаправочных станциях г. Гомеля	221
Беликова А. И., Мигдаленок А. А. Определение длительности импульса питания автоколебательного асинхронного электропривода	224
Чучвага С. В. Компактная воздушная линия электропередачи повышенной мощности.....	227
Ковальчук П. А. Тригенерация энергии для централизованного энергоснабжения	230

<i>Дорохова Н. А.</i> Утилизация теплоты дымовых газов котельного агрегата при помощи теплового насоса	233
<i>Чиж Н. В.</i> Устойчивая работа турбогенератора	237
<i>Воронович А. А.</i> Автоматизация расчетов при проектировании систем электроснабжения жилых домов	240
<i>Лупан Ю. А.</i> Утилизация тепла уходящих газов нагревательной печи.....	243
<i>Тереня Д. А.</i> Применение АТНУ в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий на примере ОАО «Гомельский химический завод».....	246
<i>Алексеева И. В.</i> Необходимость и пути корректировки постоянной времени нагрева при определении расчетных электрических нагрузок.....	250
<i>Зязюля Е. С.</i> Влияние места установки на работу фотоэлектрических станций	253
<i>Сологузов А. П.</i> Изучение влияния электрического поля на процессы горения.....	256
<i>Шиленкова В. Н.</i> Управление тепловым режимом светодиодного источника света.....	259
<i>Насивалиев Р. И.</i> Повышение эффективности работы воздуходувной станции в системе очистки сточных вод ОАО «СветлогорскХимволокно».....	262
<i>Болутенко В. С.</i> Пути повышения эффективности систем городского наружного освещения	265
<i>Петренко Е. В.</i> Сопоставимый анализ действующего стандарта качества электрической энергии ГОСТ 32144–2013 с ГОСТ 13109–97	269
<i>Аршуков А. И.</i> Использование энергии давления природного газа в условиях водогрейной котельной.....	272
<i>Родин А. В.</i> Метод определения термического сопротивления пародинамического термосифона с удлиненными зонами испарения и конденсации	275
<i>Романенко Л. В.</i> Утилизация тепловой энергии в системах теплоснабжения с применением турбодетандера	278
<i>Рагина В. Г.</i> Утилизация послеспиртовой барды в биогазовых установках	281
<i>Дробов А. В.</i> Анализ возможностей программы имитационного моделирования для повышения энергетической эффективности электрооборудования нетяговых железнодорожных потребителей	285
<i>Дробов А. В.</i> Практическая реализация программы имитационного моделирования электрических сетей железнодорожных узлов.....	288
<i>Лукашик М. В.</i> Проблема высших гармоник, генерируемых сварочным оборудованием.....	291
<i>Горицкий В. В.</i> Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей	294
<i>Широкова Д. О.</i> Влияние коммутационных импульсов напряжения на работоспособность люминесцентных и светодиодных источников света	297
<i>Ядров Р. Д.</i> Методика производства измерений напряженности электрического поля в соответствии с требованиями санитарных правил	300
<i>Соколовский Е. И., Жура А. Ю.</i> Схемы форсировки постоянных электромагнитов в маятнике Фуко	302
<i>Бирилло Н. С.</i> Современные энергосберегающие технологии в вагонном хозяйстве.....	305
<i>Казаченко В. В.</i> Оптимизация энергопотребления тяговых электроприводов	308

Секция IV. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

<i>Ильющиц Е. А.</i> Обзор принципов бесконтактного контроля токов для систем сигнализации и защитного отключения	312
<i>Верниковский В. Г.</i> Применение 24-битных АЦП Data Translation для Прецизионного Лазерного Инклинометра: о методах минимизации шумов и компенсации рассинхронизации каналов	315

<i>Левкович А. С.</i> Анализ влияния пространственного положения магнита на выходной сигнал датчика Холла в системе контроля линейных перемещений.....	318
<i>Дорощенко И. В.</i> Анализ динамики электромеханического испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада с различными системами автоматического регулирования нагрузочного момента	321
<i>Мельников А. В.</i> Система дистанционного мониторинга местоположения внутритрубного объекта для нефтепроводного транспорта	324
<i>Карпов А. В.</i> Способ определения индуктивности обмотки возбуждения электропропорционального магнита	326
<i>Черехухин В. А.</i> Способ компенсации гистерезиса электропропорционального гидрораспределителя в системе управления комбинированной дорожной машиной.....	329
<i>Ильющуц Е. А.</i> Анализ возможности построения мультисканальной системы трекинга транспортных средств.....	332
<i>Рутковский Т.</i> Методика определения мощности, рассеиваемой кристаллом мощных IGBT-модулей, по температурному градиенту.....	336
<i>Быков Н. Н.</i> Энергоэффективная подсветка операторской панели модуля управления технологического оборудования.....	339
<i>Козляковская А. А.</i> Измерение больших постоянных токов с помощью датчиков тока LEM Ultrastab.....	342
<i>Шинкарев А. С.</i> Методы контроля и технической диагностики узлов электрических машин на ОАО «БМЗ».....	344
<i>Максимович В. С., Тулуп Ю. Н.</i> Способы формирования и регулирования выходного напряжения в многоуровневых преобразователях	347
<i>Блинков А. В.</i> Система управления тяговым вентильно-индукторным электроприводом с независимым возбуждением.....	350
<i>Третьяков А. С., Капитонов О. А.</i> Расчет энергетической диаграммы и энергетических параметров асинхронного электродвигателя улучшенной конструкции	353
<i>Корнеев А. А., Сериков А. П.</i> Возможность применения вентильно-индукторных приводов в подъемных установках.....	356

Секция V. ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ПОЛИТИКА

<i>Кучура В. В., Русакова М. М.</i> Моделирование информационной инфраструктуры предприятия на основе проведенного ИТ-аудита	360
<i>Седляр А. И., Жабыко А. С.</i> Автоматизация процесса принятия решения по развитию производства.....	363
<i>Жевнова А. О.</i> Пути снижения дебиторской задолженности на промышленных предприятиях Республики Беларусь.....	366
<i>Брель М. В.</i> Зарубежный опыт в материальном стимулировании персонала.....	369
<i>Супроненко А. Н.</i> Использование электронных торговых площадок для упрощения процессов снабжения предприятия	371
<i>Брулевич М. В.</i> Экономическая оценка энергосберегающих проектов	373
<i>Дербеева В. О.</i> ИТ-сектор в Республике Беларусь.....	376
<i>Русинович А. И.</i> Проблемы венчурного бизнеса в Республике Беларусь.....	379
<i>Шевелева И. О.</i> Доходы и потребительские расходы населения Республики Беларусь: динамика и тенденции.....	381
<i>Руденко Р. С., Серикова Е. И.</i> Интеграция предприятий и университетов	384

<i>Равковская А. П.</i> Динамика и структура доходов и расходов домохозяйств Республики Беларусь	387
<i>Руденко Р. С.</i> Особенности реализации человеческого капитала в Республике Беларусь	390

Секция VI. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

<i>Евтушенко В. В.</i> Развитие агротуризма в Республике Беларусь: правовые условия и экономические особенности	393
<i>Морозов А. С.</i> Развитие распределенных энергетических систем в Республике Беларусь: возможности, риски, барьеры	396
<i>Ключинский В. П.</i> Совершенствование финансово-экономического механизма энергосбережения в жилищно-коммунальном секторе Республики Беларусь	399
<i>Добродей Л. А.</i> Организационные аспекты и оценка эффективности управления основными средствами промышленного предприятия	402
<i>Азарков Е. А.</i> Модель управления эколого-экономическими системами для обеспечения устойчивого роста	405
<i>Козлова В. И.</i> Оценка социально-экономических факторов роста производительности труда в сельском хозяйстве Республики Беларусь	407
<i>Клейнауските К.</i> Состояние и проблемы инвестирования в сельскохозяйственное производство Республики Беларусь	411
<i>Королева А. Я.</i> Организация Бережливого производства с применением средств автоматизации	414
<i>Шатунова А. В.</i> Эффективность организации Бережливого производства в кузнечно-прессовом производстве	417
<i>Лесковец Ю. В.</i> Поток создания ценности в Бережливом металлургическом производстве	419
<i>Малюх О. Ю.</i> Современный взгляд на менеджмент организации	421
<i>Данченко Е. Г.</i> Повышение конкурентоспособности предприятия по выпуску гидротехнической продукции	424
<i>Бранец Е. Д.</i> Инвестиционная политика предприятия сельскохозяйственного машиностроения: условия формирования, особенности реализации и оценки эффективности	428
<i>Внукова А. О.</i> Основные аспекты применения опыта «Лиги выдающихся руководителей» при совершенствовании управления промышленными предприятиями Республики Беларусь	432
<i>Тарасенко В. А.</i> Капельный полив (малины)	435

Секция VII. МАРКЕТИНГ И КОРПОРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

<i>Морозова Е. И.</i> Мерчендайзинг – главный фактор влияния на поведение потребителей	439
<i>Дмитриченко С. Я.</i> Характеристика внешнего рынка сбыта продукции ОАО «8 Марта» и перспективы его развития	441
<i>Бердин А. Ю.</i> Действие конкурентных сил на отраслевом рынке ОАО «СтанкоГомель»	444
<i>Дорофеева Е. Д.</i> Направления формирования лестницы потребительской приверженности на туристические услуги в молодежном сегменте	447
<i>Вальчевская М. В.</i> Журнальная реклама товаров промышленного назначения	451

<i>Санец В. А.</i> Анализ факторов макросреды, оказывающих влияние на культурно-познавательный туризм.....	454
<i>Домород А. В.</i> Анализ количественных факторов, влияющих на продолжительность жизни населения страны.....	457
<i>Шандрак Д. А.</i> Особенности и перспективы развития спортивного туризма в Республике Беларусь.....	460
<i>Машурова М. В.</i> Анализ ценовой политики событийного туризма в Республике Беларусь.....	463
<i>Богдановская О. А.</i> Особенности маркетинга в различных видах туризма.....	466
<i>Карпенко Н. А.</i> Позиционирование бренда «Милкавита» в структуре молочной отрасли Республики Беларусь.....	469
<i>Шановалов П. П.</i> Коммуникативные технологии в гостиничном бизнесе Гомельской области.....	472
<i>Дринеvская Е. А., Равковская А. П.</i> Мировые гостиничные цепи.....	475
<i>Суслова А. А.</i> Лечебно-оздоровительный туризм и тенденции его развития в Республике Беларусь.....	478
<i>Кравченко А. В.</i> Направление совершенствования сбытовой политики путем создания интернет-магазина предприятия ОАО «8 Марта».....	481
<i>Бабинский А. О.</i> Оптимизация гостиничного бизнеса при помощи OpenERP систем... ..	485
<i>Москаль К. И., Казак Е. А.</i> Методические аспекты анализа туристического бренда.....	488

Секция VIII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Меньшаков П. А.</i> Исследование речевых расстройств при помощи голосовой идентификации на основе нейронных сетей.....	492
<i>Barskar Peeyush</i> Algorithm for low power XOR gate decomposition.....	494
<i>Бужан М. А., Жердецкий Ю. В.</i> Вероятностно-алгебраическое моделирование многосвязной сетевой структуры большой размерности.....	497
<i>Абдыев А. Д., Клевитская Е. Д., Матюш И. И.</i> 3D-визуализация неопределенности многопараметрических измерений в информационных системах.....	501
<i>Бурдук Е. А.</i> Автоматизация анализа мнений пользователей об услугах в сфере туризма на основе отзывов в социальных сетях.....	504
<i>Авсейцев П. С., Беломутов Г. В.</i> Компьютерное моделирование динамики подвески трактора с использованием UNITY.....	507
<i>Белашов Н. М.</i> Параметрическая 3D модель деталей типа «вал».....	510
<i>Банькова В. С.</i> Постановка задачи и обоснование выбора методов автоматизированной диагностики заболеваний опорно-двигательного аппарата ...	513
<i>Дмитриев А. И., Журавкина А. А.</i> Чат-боты как новый способ оказания услуг.....	516
<i>Мельникова А. Д.</i> Многофакторная математическая модель элементов технологических процессов.....	519
<i>Миргород Ю. С.</i> Презентация программного продукта для исследований колориметрических свойств объектов на основе пиксельной графики.....	522
<i>Дроздов П. Ю.</i> Применение нейронных сетей для идентификации осложнений при бурении нейронных сетей.....	525
<i>Калейчик Е. В.</i> Компьютерное моделирование уплотнения грунтового основания винтовой сваи вследствие ее устройства.....	527

Бурим И. П. Определение спина бозона Хиггса в эксперименте ATLAS на Большом адронном коллайдере в процессе рождения фотонных пар.....	529
Степаненко А. Р. Моделирование физических процессов в специализированных программных пакетах на примере лабораторной работы «Изучение законов равнопеременного движения»	531

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ПО ТЕПЛОВЫМ ПАРАМЕТРАМ

Д. И. Зализный

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Техническая диагностика как наука активно развивается в последние 15 лет благодаря расширению функциональных возможностей электронных средств. Это относится и к объектам систем электроснабжения.

Одна из главных задач диагностики в электроэнергетике – раннее выявление неисправностей объектов, что позволяет избежать их внезапных отказов и, соответственно, повысить надежность системы электроснабжения. Это достигается тем, что средства диагностирования устанавливаются на объекте стационарно для выполнения своих функций непосредственно в процессе его эксплуатации. Так осуществляется непрерывный мониторинг контролируемых параметров объекта, в режиме реального времени выполняются требуемые математические расчеты и формируется технический диагноз.

Объекты электроэнергетики диагностируют по различным параметрам – как электрическим, так и неэлектрическим. Это могут быть напряжения, токи, температуры, давления, вибрации и т. д.

С 2010 по 2015 г. на кафедре «Электроснабжение» выполнялись научные исследования, финансируемые из государственного бюджета в рамках Государственной программы «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика». Основная цель исследований состояла в разработке аппаратно-программного комплекса, позволяющего на ранней стадии выявлять аномальный нагрев объектов электроэнергетики, обусловленный нарушениями в системе их охлаждения или наличием внутренних медленно развивающихся неисправностей.

В рамках проводимых исследований была сформулирована гипотеза: некоторые медленно развивающиеся неисправности могут приводить к общему дополнительному нагреву диагностируемого объекта, что можно обнаружить, сравнивая непосредственно измеренные значения температур его элементов и соответствующие расчетные значения температур, полученные для ситуации, когда этот объект заведомо исправен. Такой вид нагрева предложено называть аномальным.

Аномальный нагрев в первую очередь может быть вызван загрязнениями и другими неисправностями в системах охлаждения объектов. Также его причинами могут быть повышенные диэлектрические потери в изоляции, ухудшение внутренних контактов, короткие замыкания и т. д.

Расчетные значения температур диагностируемого объекта формировались с помощью математических моделей тепловых процессов, функционирующих на основе метода малого количества однородных тепловых тел и метода термоэлектрических аналогий. Каждый исследуемый объект условно разбивался на 3–4 основных элемента, которые принимались как однородные тела. Затем составлялись системы дифференциальных уравнений теплового равновесия и на их основе синтезировались тепловые схемы замещения, позволяющие выполнять расчет нестационарных тепловых процессов методами электротехники. В результате уровень сложности используемых алгоритмов позволил реализовать все расчеты в рамках программного обеспечения восьмиразрядного микроконтроллера AT90USB1286 фирмы Atmel, яв-

ляющегося основой микропроцессорного прибора ПКРТ (прибор контроля и расчета температур объектов энергетики), макет которого был собран на кафедре (рис. 1).



Рис. 1. Макет прибора контроля и расчета температур объектов энергетики

Прибор позволяет выполнять измерения напряжений, токов и температур (табл. 1) и имеет двухстрочный дисплей, кнопки передвижения по меню и восемь сигнальных светодиодов: «Питание», «Работа», «Запись в память», «Связь с компьютером», «Аномальный нагрев – 1 уровень опасности», ... , «Аномальный нагрев – 4 уровень опасности».

Таблица 1

Основные технические характеристики прибора ПКРТ

Измеряемая величина	Диапазон	Абсолютная погрешность	Кол-во каналов
Напряжение постоянное и переменное (<i>true RMS</i>)	0–400 В	±0,2 В	3
Ток переменный (<i>true RMS</i>)	0–10 А	±0,1 А	3
Температура	0–70 °С	±0,1 °С	6

Программное обеспечение прибора выполняет необходимые расчеты и осуществляет вывод всех измеряемых и основных расчетных величин на дисплей.

В процессе исследований в качестве объектов диагностирования рассматривались силовые трансформаторы, силовые кабели, электродвигатели и силовые конденсаторы.

Так, силовые масляные трансформаторы были представлены как система из четырех однородных тел: магнитопровода, обмоток, масла и внутренней окружающей среды (рис. 2). Под внутренней окружающей средой подразумевается слой наружного воздуха, температура которого зависит от температуры трансформатора.

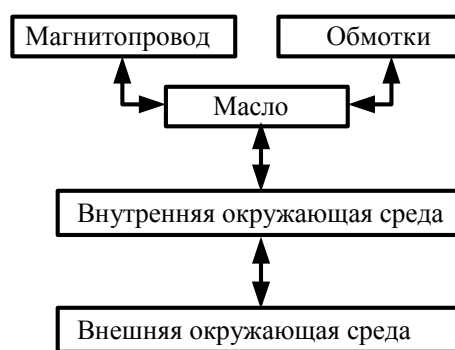


Рис. 2. Структурная схема тепловых процессов силового трансформатора

Система уравнений, описывающая рассматриваемые процессы, запишется следующим образом:

$$\begin{cases} C_1 \frac{d\theta_1}{dt} + \frac{\theta_1 - \theta_3}{R_1} = \Delta P_{\text{xx}}; \\ C_2 \frac{d\theta_2}{dt} + \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_2} = \Delta P_{\text{н}}; \\ C_3 \frac{d\theta_3}{dt} + \frac{\theta_3 - \theta_1}{R_1} + \frac{\theta_3 - \theta_2}{R_2} + \frac{\theta_3 - \theta_4}{R_3} = 0; \\ C_4 \frac{d\theta_4}{dt} + \frac{\theta_4 - \theta_3}{R_3} + \frac{\theta_4 - \theta_5}{R_4} = 0, \end{cases}$$

где $C_1 - C_4$ – соответственно, теплоемкости магнитопровода, обмоток, масла и внутренней окружающей среды; $R_1 - R_4$ – соответственно, тепловые сопротивления магнитопровода, обмоток, масла и внутренней окружающей среды; $\theta_1 - \theta_5$ – соответственно, температуры магнитопровода, обмоток, масла, внутренней окружающей среды и внешней окружающей среды; ΔP_{xx} – активная мощность потерь холостого хода трансформатора; $\Delta P_{\text{н}}$ – активная мощность нагрузочных потерь трансформатора.

На основе этой системы уравнений можно синтезировать тепловую схему замещения силового трансформатора (рис. 3).

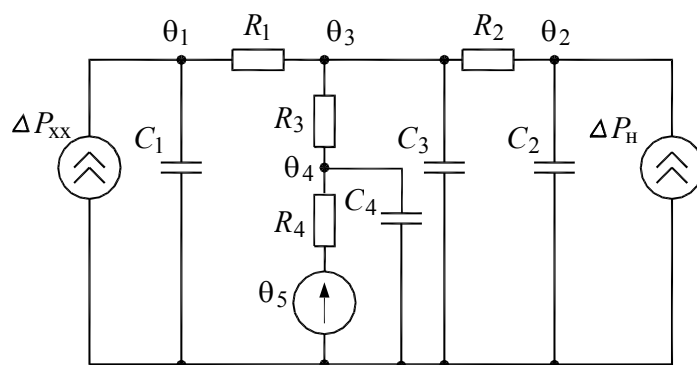


Рис. 3. Тепловая схема замещения силового масляного трансформатора

С использованием методов электротехники, таких как операторный метод Лапласа и метод наложения, были получены расчетные соотношения для всех требуемых температур. Дополнительно математическая модель была оснащена адаптивными свойствами, т. е. способностью подстраивать свои параметры под соответствующие реальные параметры заведомо исправного объекта.

Экспериментальные исследования, проведенные на автотрансформаторе типа АДЦТН 63000/220/110, показали, что абсолютная погрешность разработанной математической модели по сравнению с реальными тепловыми процессами не превысила ± 4 °С. Для выполнения этих исследований был собран датчик температуры поверхности бака трансформатора, оснащенный постоянным магнитом, позволяющим закрепить этот датчик на баке.

Для остальных исследуемых объектов проводились лабораторные натурные эксперименты также с использованием специально изготовленных датчиков, позволившие сделать выводы, что погрешность моделирования укладывается в диапазон ± 4 °С.

В работе были предложены несколько алгоритмов выявления аномального нагрева диагностируемого объекта. Наиболее простой способ – сравнение измеренных и расчетных значений температур. В качестве диагностического параметра предложено использовать характеристическую разность:

$$\Delta\theta_j(t) = \Theta_j(t) - \theta_j(t) - |\Delta\theta_{\max}|,$$

где j – номер температуры; Θ_j – непосредственно измеренная температура; θ_j – расчетная температура для заведомо исправного объекта; $\Delta\theta_{\max}$ – максимальная абсолютная погрешность математической модели.

Если на некотором интервале времени будут наблюдаться значения $\Delta\theta_j > 0$, то можно говорить об аномальном нагреве объекта, обусловленном развивающимися неисправностями.

Предложено различать четыре уровня опасности аномального нагрева, формируемые в зависимости от значений характеристической разности $\Delta\theta_j$. В качестве границ между уровнями можно использовать значения погрешности моделирования $\Delta\theta_{\max}$ в соответствии с логическими уравнениями, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Уровни опасности аномального нагрева

Условие	Уровни опасности
$(\Delta\theta_j > \Delta\theta_{\max}) \wedge (\Delta\theta_j < 2 \cdot \Delta\theta_{\max})$	Первый
$(\Delta\theta_j \geq 2 \cdot \Delta\theta_{\max}) \wedge (\Delta\theta_j < 3 \cdot \Delta\theta_{\max})$	Второй
$(\Delta\theta_j \geq 3 \cdot \Delta\theta_{\max}) \wedge (\Delta\theta_j < 4 \cdot \Delta\theta_{\max})$	Третий
$\Delta\theta_j \geq 4 \cdot \Delta\theta_{\max} $	Четвертый

При первом и втором уровнях опасности рекомендуется работа системы диагностирования на визуальный сигнал, при третьем уровне – работа на визуальный и звуковой сигналы, а при четвертом уровне – на отключение объекта от сети.

Для окончательного формирования алгоритмов диагностирования необходимо проводить исследования на реальных объектах энергетики в течение длительного времени, накапливая базу знаний.

Секция I МАШИНОСТРОЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ

В. О. Туровец

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Петухов

Современные условия ведения бизнеса диктуют необходимость повышения производительности труда наряду с ужесточением требований к качеству проектных решений. При этом практически безальтернативным является совершенствование конструкции изделий на базе 3D-моделирования. Практическому исследованию некоторых аспектов создания параметрической модели изделия посвящена данная работа.

В качестве объекта конструкторского проектирования был выбран защитный чехол для мобильного телефона (iPhone 5s).

План проведения исследования состоял из следующих пунктов:

- 1) определение габаритных размеров;
- 2) построение 3D-модели;
- 3) проверка 3D-модели;
- 4) экспорт 3D-модели в STL-формат;
- 5) проверка 3D-модели в netfabb Basic.

Очевидно, что основными этапами исследования были построение и проверка 3D-модели.

Описание проведенного исследования начнем с первого этапа – определения габаритных размеров. Для создания чехла необходимо знать точные габаритные размеры мобильного устройства, а также радиус скругления. Размеры мобильного телефона iPhone 5s легко определить, воспользовавшись его габаритным чертежом, представленным на рис. 1.

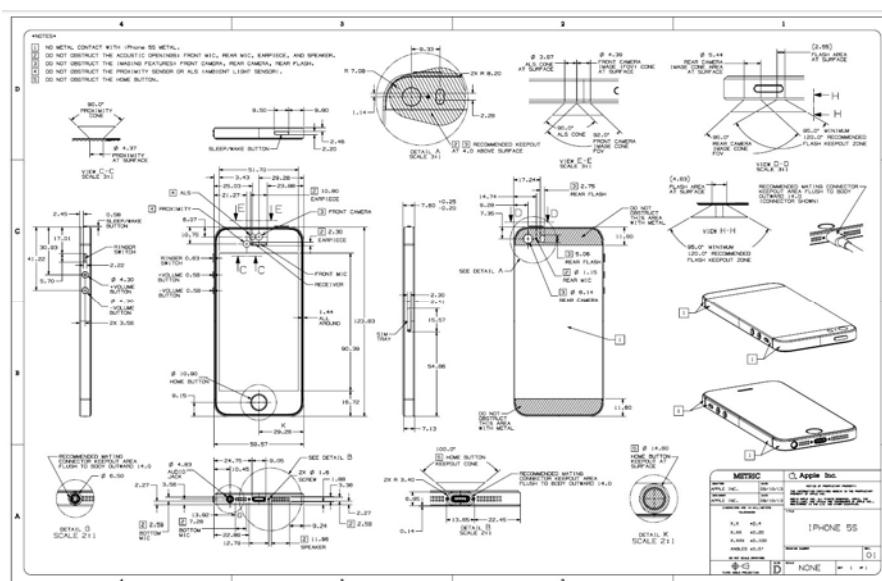


Рис. 1. Габаритный чертеж мобильного телефона iPhone 5s

Работы, выполненные на этапе построения 3D-модели, проиллюстрированы на рис. 2.

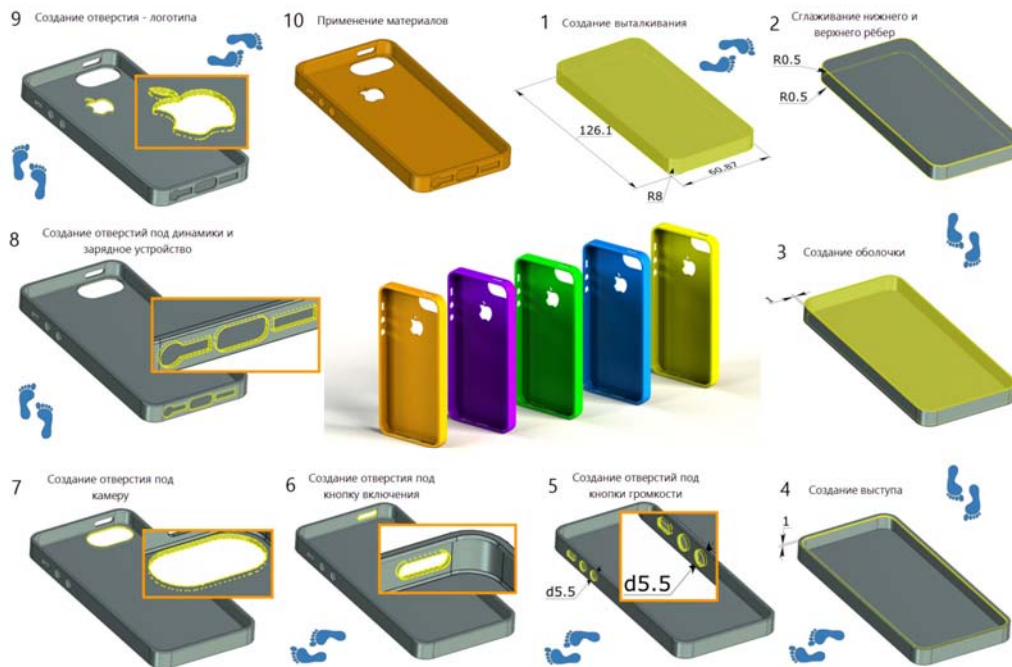


Рис. 2. Этапы построения 3D-модели

Перед тем как экспортировать модель, рекомендуется выполнить проверку построенного объекта. Выполнение этого этапа проиллюстрировано на рис. 3.

На следующем этапе был выполнен экспорт 3D-модели в STL-формат. Дело в том, что для конвертации данных при печати на 3D-принтере в системе T-Flex CAD существует специальная команда «Печать 3D». Она позволяет экспортировать модель в сеточный формат STL с заданными настройками качества сетки. Для справки: STL (от англ. *stereolithography*) – формат файла, широко используемый для хранения трехмерных моделей объектов перед использованием в технологиях быстрого прототипирования методом стереолитографии. Информация об объекте хранится как список треугольных граней, которые описывают его поверхности. Выполнение этого этапа проиллюстрировано на рис. 4.

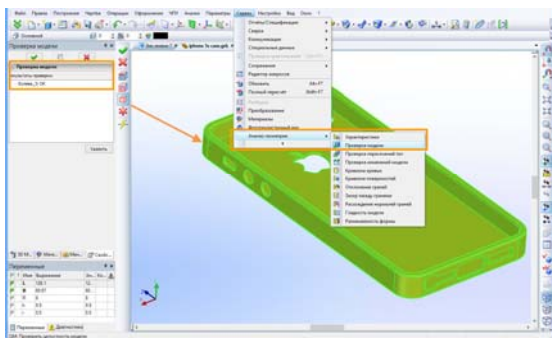


Рис. 3. Проверка 3D-модели

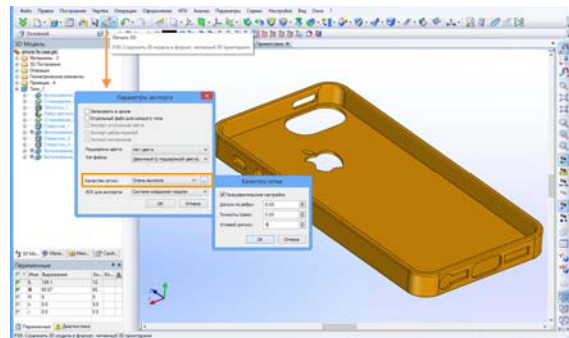


Рис. 4. Экспорт 3D-модели в STL-формат

Для выполнения 3D-печати нужен несодержащий ошибок STL-файл, экспортированный из 3D CAD-программы. Этот нюанс крайне важен, ведь даже та модель, которая на экране компьютера выглядит идеально, может обладать определенными недостатками, способными существенно испортить результат 3D-печати, или же вообще сделать ее невозможной. Приложение netfabb Studio Basic (сокращенно netfabb) как раз и предназначено для автоматического исправления STL-файлов. Проверка показала, что экспорт выполнен успешно – ошибок в модели нет. Модель готова к выводу на 3D-печать.

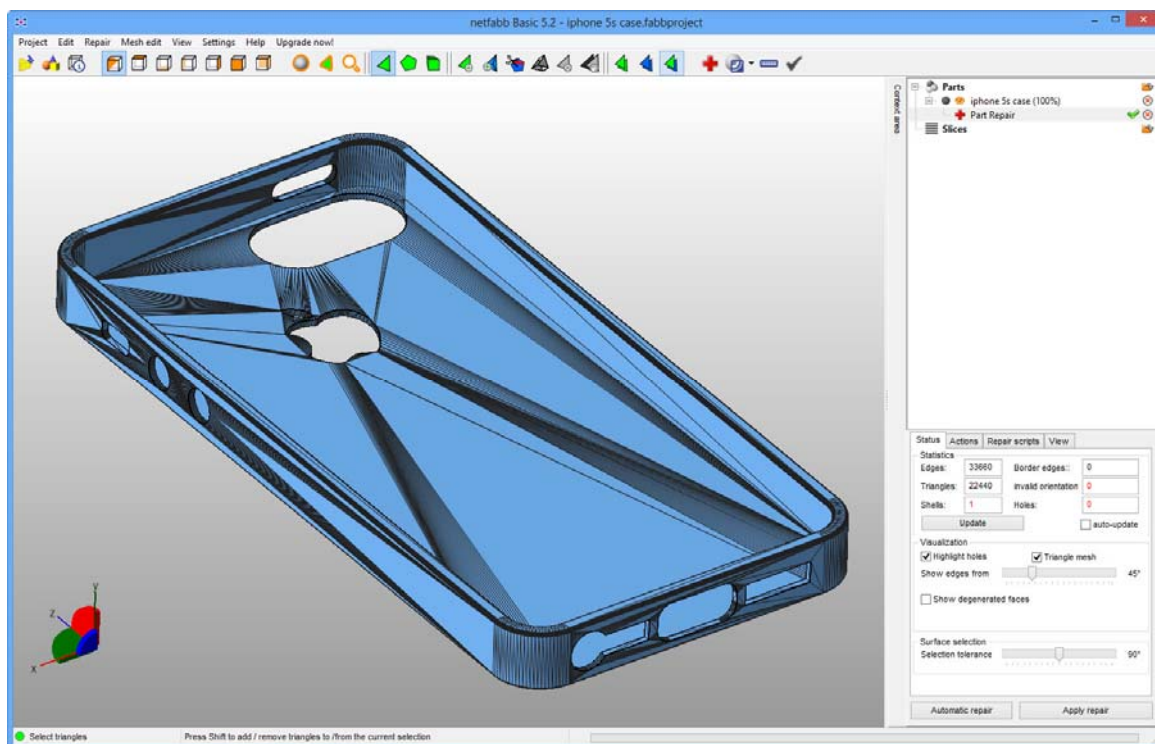


Рис. 5. Проверка 3D-модели в netfabb Basic

В результате проведенного исследования получаем прототип, позволяющий оценить результат проектирования, и при необходимости в модель можно внести изменения. Чтобы чехол сидел плотнее, или при замене пластика на резину.



Рис. 6. Результат 3D-моделирования

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

А. А. Сацукевич, Ю. А. Лобко

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научные руководители: П. С. Серенков, Н. Н. Иванова

Определение термина «инновация» поясняет необходимость ее создания: инновация – это внедренное новшество, обеспечивающее качественный рост эффективности процессов или продукции, востребованное рынком. Создание инновации осуществляется, как правило, экспериментальным путем, вследствие чего исследователь сталкивается с рядом трудностей, такими, как значительные финансовые затраты наряду с неопределенностью результата, а также сильное влияние оказывает человеческий фактор.

Наиболее рационально перед экспериментальными исследованиями провести первоначальное экспертное оценивание в данной сфере. Значительное преимущество экспертных методов перед экспериментальными состоит в отсутствии необходимости значительных финансовых затрат. Единственный ресурс, потребляемый при использовании данных методов, – это время в допустимых объемах.

При осуществлении первоначального экспертного оценивания решаются следующие задачи:

- предварительное изучение объекта исследований;
- выявление влияющих факторов на объект исследования и упорядочение их;
- сужение диапазона факторов;
- поиск области физических исследований.

В рамках решения первой задачи осуществляется определение групп влияющих факторов с целью выявления факторного пространства, состоящего из N факторов, при помощи опроса компонентных специалистов, принимающих участие в исследовании по разработке инновационного продукта. Несмотря на то, что разрабатываемый продукт является эксклюзивным, группа экспертов, участвующая в его создании, обладает «скрытыми» знаниями о нем, которые основываются на базе собственного опыта, изучения технической литературы, бесед с коллегами и т. д. Таким образом, результатом опроса является выявление максимально полной «скрытой» информации об объекте.

Затем необходимо выделить из всего диапазона факторов наиболее влияющие. Для облегчения решения данной задачи предложено расклассифицировать все выявленные факторы в соответствии с методологией моделирования IDEF0 и процессным подходом по категориям: «Входы», «Выходы», «Механизмы», «Управление» (рис. 1).

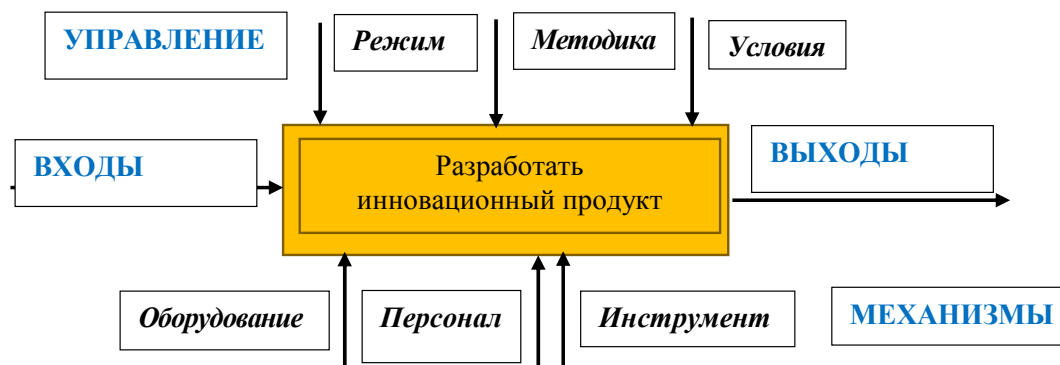


Рис. 1. Процесс разработки инновационного продукта в нотации IDEF0

Необходимо определить целевое значение выходных данных (которое будет требовать заказчик инновационной технологии), используя теорию Тагути:

1. «Лучше всего – номинал». Надо стремиться к номиналу с минимальной вариабельностью.

2. «Чем меньше – тем лучше». Необходимо минимизировать выходные параметры, такие, как, например, величина усадки или износа.

3. «Чем больше – тем лучше». Необходимо максимизировать выходные параметры, такие, как, например, сила тяги или предел прочности на растяжение.

4. Дискретный показатель «атрибут», используемый для классификации или подсчета.

5. Динамическая характеристика, величина которой зависит от входных данных.

Далее в соответствии с предлагаемой методикой необходимо осуществить ранжирование факторов двумя подходами совместно для взаимной проверки:

1. Ранжирование всего диапазона выявленных N факторов.

2. Ранжирование факторов по категориям: «Входы», «Выходы», «Механизмы», «Управление» (рис. 1).

Сущность метода априорного ранжирования факторов заключается в том, что факторы, которые согласно априорной информации могут иметь существенное влияние, ранжируются в порядке убывания вносимого ими вклада. Вклад каждого фактора оценивается по величине ранга, который отведен исследователем данному фактору при ранжировании всех факторов с учетом их предполагаемого влияния на параметры оптимизации. Экспертам предлагается расставить факторы по убыванию их значимости на характеристики получаемого инновационного продукта.

Может показаться, что, осуществив усечение на определенном уровне проранжированного ряда факторов, будет решена основная задача первоначального экспертного оценивания. Но так как на исследуемый объект может оказывать влияние большое количество факторов, даже в рамках отдельных категорий, то результаты ранжирования не обладают необходимой достоверностью. Вместе с тем каждый фактор изменяется в определенных границах и важно определить конкретные уровни каждого фактора для дальнейшего проведения физического эксперимента.

Следующим этапом является на основании опроса группы экспертов определение границ варьирования выявленных факторов. Для решения основной задачи нами разработаны два метода.

Для начала необходимо выбрать из проранжированного ряда факторов три наиболее влияющих фактора по трем категориям. Затем в соответствии с первым методом, так называемым методом покоординатного спуска, необходимо определить координаты первой точки, являющейся ожидаемой величиной, характеризующейся набором трех факторов на разных уровнях по трем координатам, соответственно. Далее необходимо осуществлять движение по координатам, изменяя уровень одного из тройки факторов, при этом оставляя два других неизменными, при этом предполагая, что все остальные влияющие факторы зафиксированы на некоторых средних значениях. В случае, если, по мнению эксперта изменение уровня фактора положительно влияет на выходную величину, необходимо переместится в данную точку и измять в дальнейшем уровни следующего фактора и т. д. В случае, если после изменения уровня фактора, ситуации ухудшилась, необходимо остаться в рассматриваемой точке. Если же исследователь не знает, как изменение фактора повлияет на выходную величину, то можно подойти к данной точке по другому пути, в этом и состоит главное преимущество данного метода. Если исследователь по-прежнему не знает, что произойдет с выходной величиной в данной точке, то в ней необходимо

поставить физический эксперимент. В общем случае графически данный метод можно представить в виде куба (рис. 2).

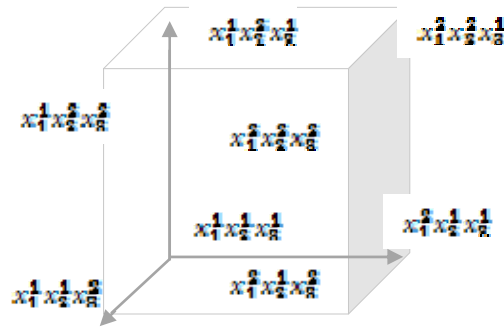


Рис. 2. Куб влияющих факторов

В результате мы выйдем на точку с наиболее оптимальными координатами, уровнями факторов. Затем к данной точке с фиксированными значениями уровней факторов необходимо пристроить следующий куб, характеризующийся набором других факторов, следующих по силе влияния на выходную величину в соответствии с проранжированным рядом (рис. 3). В результате мы выйдем на новую точку с фиксированными оптимальными значениями двух троек факторов. Данную процедуру необходимо повторить со всеми факторами, выстроенными в проранжированном ряду в соответствии со степенью влияния на выходную величину. После завершения всех процедур будет найдена область дальнейших физических исследований, что значительно сократит затраты на исследования.

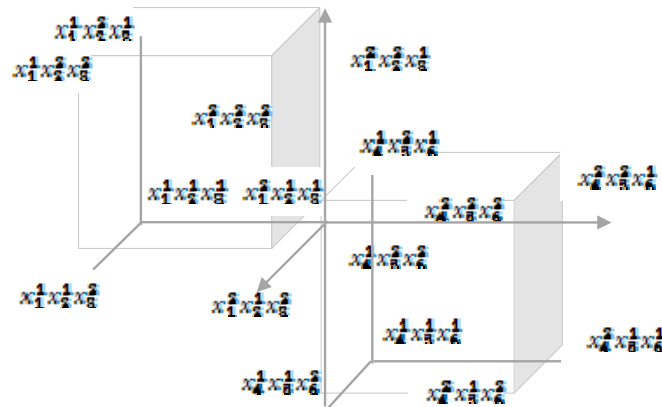


Рис. 3. Метод покоординатного спуска

Второй метод несколько отличается от предыдущего. Но первоначальная процедура построения первого куба из факторов, оказывающих наибольшее влияние на выходной параметр для нахождения их оптимальных значений, сохраняется. Затем в рамках данного метода необходимо проводить опрос при фиксированных значениях первой тройки влияющих факторов и зафиксированных значениях других факторов на некотором среднем оптимальном уровне, изменяя уровень одного из факторов, следующего по силе влияния на выходную величину в соответствии с проранжированным рядом. Недостаток данного метода состоит в отсутствии альтернативного

движения для перепроверки или в случае, если эксперт не знает, как изменится выходная величина.

Литература

1. Спирин, Н. А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / Н. А. Спирин, В. В. Лавров. – Екатеринбург, 2004. – С. 195–208.
2. Методы менеджмента качества. Методология управления риском стандартизации : науч. монограмма / П. С. Серенков [и др.]. – Минск, 2012. – 244 с.

ОСОБЕННОСТИ КРЕПЛЕНИЯ ТИТАНОВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ АДГЕЗИВОВ

М. Л. Калиниченко, С. В. Григорьев, В. А. Калиниченко

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель В. М. Александров

Титановые сплавы и материалы на их основе занимают наиболее ответственные участки в машиностроительном производстве, медицине, авиакосмической области и т. д. Однако по обзорам мировой прессы [1], титановые сплавы являются ключевыми материалами по улучшению свойств летательных аппаратов и наземных систем с высокой степенью ответственности. Это связано с уникальными свойствами титана (механические свойства, коррозионная стойкость). Единственное, что останавливает в применении данных материалов – это их высокая стоимость по сравнению с аналогичными по свойствам материалами и, по результатам исследований мировых компаний производителей титановых изделий, стоимость изготовления изделий, сопоставимых с изготовлением титана, – 1 к 40. Как показали исследования компании Boeing, одной из основных потребителей порошковых титановых изделий, основную массу расходов составляют расходы на прессование порошка (около 50 %) и расходы на механическую обработку.

Следующей высокой статьей расходов, первичной в машиностроении, является крепление титановых изделий [2]. В настоящее время для данных целей используется лазерная или аргоновая сварка, или методы порошковой металлургии. Однако все вышеперечисленные методы требуют больших энергетических затрат и, как следствие – высокая стоимость и использование дорогостоящего оборудования.

В результате выполнения работы был предложен метод соединения данных типов материалов с помощью адгезивов, лишенный вышеперечисленных недостатков. В качестве объектов исследования были выбраны наиболее сложно скрепляемые элементы: пористое тело с компактной подложкой. Сложность данного крепления объясняется тем, что в отличие от соединения «компакт–компакт» в соединении «компакт–пористое тело» происходит разное взаимодействие адгезива с материалом. На компакте адгезив выстраивается линейно, в то время как на пористом теле срабатывает эффект губки (капиллярный эффект), т. е. частичное или полное впитывание адгезива в пористое тело склеиваемой детали. Как результат, научный интерес представляет оценка величины пропитки адгезивом пористого тела, что важно для соединения фильтрующих элементов, зон безопасности автомобилей, летательных аппаратов.

Для успешного крепления пористого и компактного тела должны соблюдаться два условия: надежное крепление пористого тела к компактной подложке; отсутствие заполнения пор адгезивом, (так как данный процесс нивелирует деформирующие, армирующие, фильтрующие и иные положительные свойства пористых тел). Для решения поставленной задачи были взяты 5 образцов на основе пористого тита-

на марки ТПП5 (ТУ 14-22-57-98) с различной пористостью (рис. 1). В качестве подложки использовались таблетки из титанового сплава BT-1 (ОСТ 9045-72). Соединение компактной таблетки с пористым телом осуществлялось с помощью адгезивов компании 3М (США) DP 270, DP 8805NS и эпоксидного универсального клея марки ЭДП быстрого отверждения – производитель ООО «НПК «Астат», Россия (рис. 2-4), соответственно.

По результатам исследования было выявлено, что адгезивы на основе эпоксидных смол, такие, как DP 270 и ЭДП, имеют особенность к заполнению пористого тела, так как обладают высокой жидкотекучестью и коэффициентом смачиваемости (по данным производителей). В тоже время необходимо отметить, что универсальные машиностроительные адгезивы типа DP 8805NS не обладают столь высокой проникаемостью в пористое тело, что отражено на рис. 5, где показаны мениски эпоксидного клея и клея DP 8805NS в порах титана.

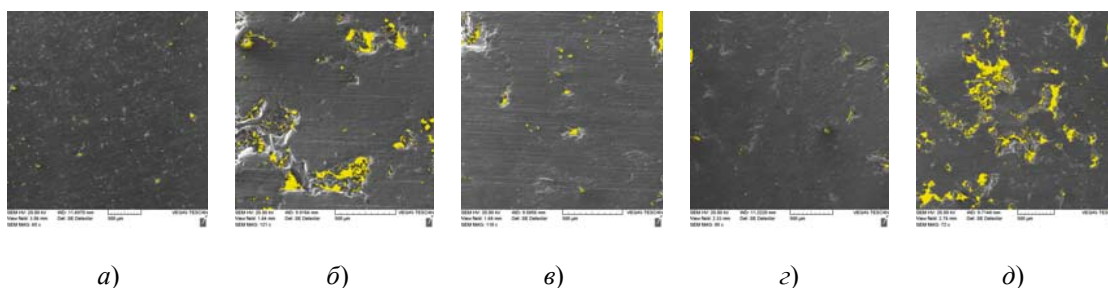


Рис. 1. Исходные титановые таблетки:
а – пористость 20–25 %; б – 30–35 %; в – 28–32 %; г – 28–32 %; д – 40 %

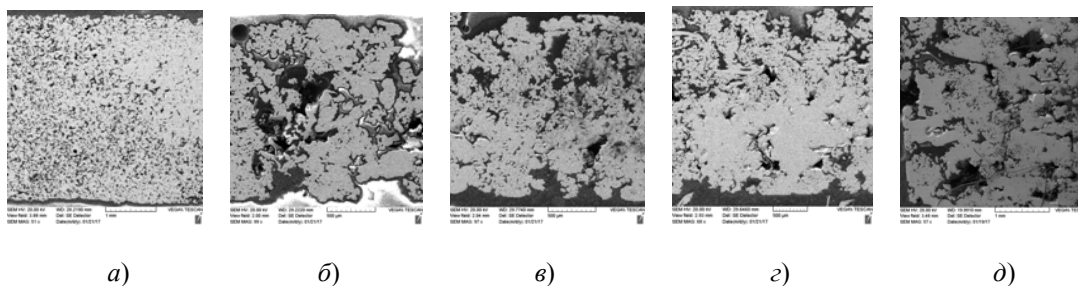


Рис. 2. Образцы, склеенные клеем компании 3М марки DP 270 на основе компактной подложки и прессованной таблетки при различных увеличениях:
а – пористость 20–25 %; б – 30–35 %; в – 28–32 %; г – 28–32 %; д – 40 %

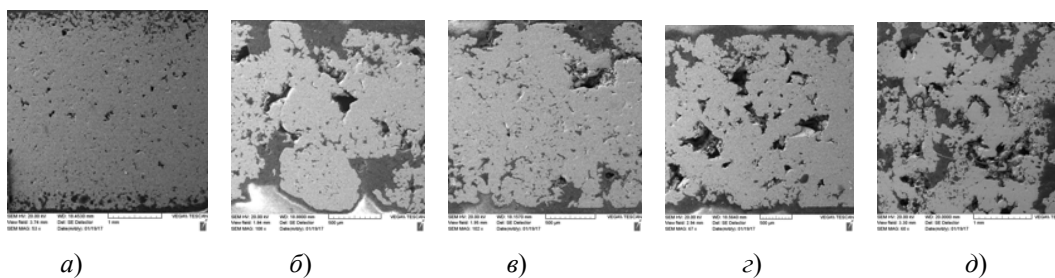


Рис. 3. Образцы, склеенные клеем компании 3М марки DP 8805NS на основе компактной подложки и прессованной таблетки при различных увеличениях:
а – пористость 20–25 %; б – 30–35 %; в – 28–32 %; г – 28–32 %; д – 40 %

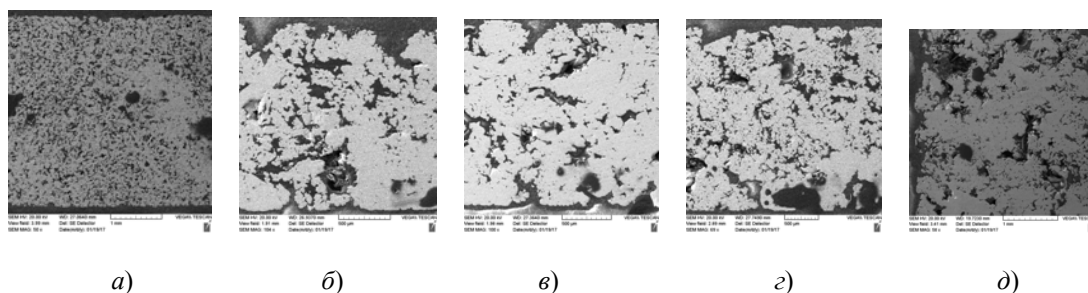


Рис. 4. Образцы, склеенные эпоксидным универсальным клеем марки ЭДП на основе компактной подложки и прессованной таблетки при различных увеличениях: а – пористость 20–25 %; б – 30–35 %; в – 28–32 %; г – 28–32 %; д – 40 %

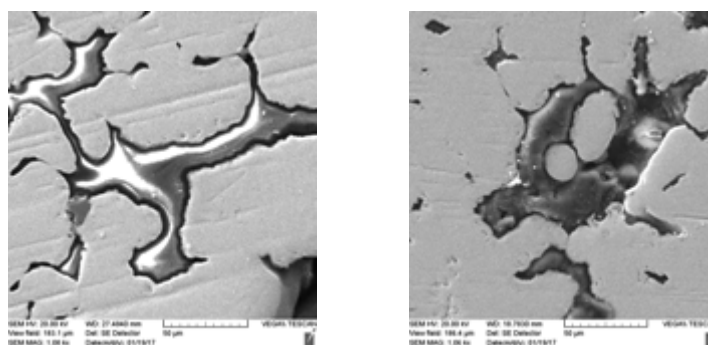


Рис. 5. Клеевые мениски в порах титановой губки: а – эпоксидная основа; б – DP 8805NS

В результате проведенной работы было выявлено, что типовые применяемые адгезивы, на примере широко используемых эпоксидного универсального клея марки ЭДП и клея 88, отличаются полным заполнением пористого тела (рис. 5, а), что ведет к снижению заявленных ранее свойств пористого тела и увеличению расхода адгезива, связанного с пропиткой пористого тела. При этом следует отметить, что клеи типа DP 8805NS (США), имеющие в своем составе гранулы ограничители (рис. б), охватывают только низкий слой пористого тела (рис. 5, б), обеспечивая при этом достаточную жесткость крепления и не нарушая механических свойств пористого материала.

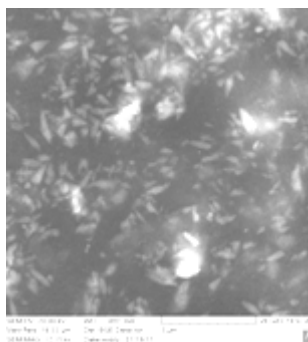


Рис. 6. Электронная микроскопия аморфных гранул в клее DP 8805NS

В результате проделанной работы было выявлено, что адгезивные технологии могут соперничать при тех или иных условиях с традиционными способами крепле-

ния материалов. Был произведен анализ влияния различных адгезивов на скрепляемые материалы и доказано, что жидкотекучесть адгезива не всегда подходит для решения конкретных задач в машиностроении.

Литература

1. Александров, В. М. Анализ использования порошков титана в мировой практике для получения компактов и пористых материалов / В. М. Александров, М. Л. Калиниченко // Сб. докл. 9-го Междунар. симп., Минск, 8–10 апр. 2015 г. – Минск, 2015. – Ч. 1. – С. 258–267.
2. Калиниченко, М. Л. Современные методы и технологии создания и обработки материалов / М. Л. Калиниченко, В. А. Калиниченко // Сб. науч. тр. X Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 сент. 2015 г. – Минск : ФТИ, 2015. – Кн. 2. – С. 196–199.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ФРИКЦИОНАМИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

В. С. Савицкий

*Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь*

Научный руководитель В. П. Тарасик

При непосредственном участии коллектива кафедры «Транспортные и технологические машины» Белорусско-Российского университета создана мехатронная система автоматического управления (МСАУ) гидромеханическими передачами карьерных самосвалов БЕЛАЗ грузоподъемностью 45–60 т. МСАУ имеет распределенную структуру, состоит из множества компонентов, располагаемых в различных местах самосвала. В ее состав входят следующие компоненты: контроллер управления ГМП; селектор режимов управления ГМП; блок аварийного управления БАУ (расположен в корпусе селектора); электронная педаль акселератора; электронная панель приборов; механизмы управления фрикционами (МУФ) ГМП; датчики частоты вращения валов ГМП; датчики давления гидросистемы ГМП (главного давления, давления гидротрансформатора, давления смазки); датчики давления МУФ; датчик температуры масла; датчики тормозной системы (стояночного тормоза, датчик рабочего тормоза, датчик включения тормоза-замедлителя); датчик положения грузовой платформы самосвала; система контроля загрузки самосвала.

Для данной МСАУ разработана конструкция МУФ, выполненная в виде двухступенчатого электрогидравлического пропорционального клапана (ЭПК), первой ступенью которого является регулятор давления (РД), а второй – регулятор-распределитель (РР). Регулятор давления состоит из пропорционального электромагнита (ПЭМ) и гидравлического двухлинейного клапана с шаровым запорно-регулирующим органом. Регулятор-распределитель представляет собой трехлинейный гидроклапан с дифференциальным золотниковым запорно-регулирующим органом и гидравлической обратной связью по выходному давлению. Принципиальная схема МУФ представлена на рис. 1.

Проведены расчетно-теоретические исследования по определению параметров разработанного МУФ. Для анализа переходных процессов в гидроприводе системы управления фрикционами разработана динамическая модель. Она учитывает инерционные, упругие и диссипативные свойства всех компонентов системы гидропривода и ее гидромагистралей, а также нелинейные характеристики регулятора давления, регулятора-распределителя и переливного клапана, а также динамические

свойства пропорционального электромагнита. По динамической модели составлена математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений.

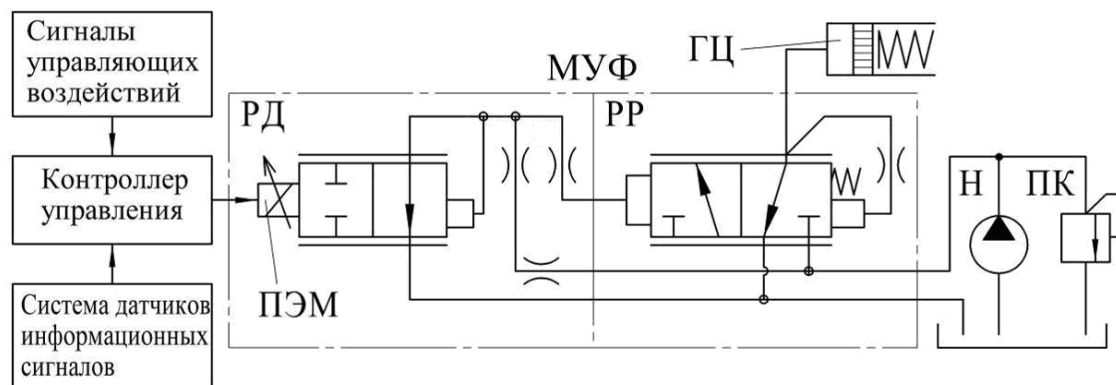


Рис. 1. Принципиальная схема МУФ

На основе разработанной математической модели гидропривода системы управления фрикционами проведены исследования влияния основных конструктивных параметров МУФ на показатели качества его функционирования при включении фрикциона.

Установлено, что критерии качества процесса функционирования МУФ являются конфликтными. Это означает, что при изменении какого-либо параметра МУФ происходит улучшение одного или нескольких показателей качества и ухудшение других. По этой причине произведена оптимизация параметров МУФ.

Решение задачи оптимизации произведено на основе использования уравнений регрессий, связывающих между собой критерии и оптимизируемые параметры объекта. Уравнения регрессий получены на основе проведения планируемого вычислительного эксперимента на исходной математической модели. В качестве стратегии оптимизации выбрана минимаксная стратегия. В результате определены оптимальные параметры МУФ.

Для оценки эффективности выполненных теоретических исследований и принятых на их основе конструктивных решений проведены полигонные испытания карьерного самосвала, укомплектованного разработанными МУФ. Испытания проходили в два этапа. На первом этапе использовались МУФ с исходными параметрами и производилась запись процесса разгона самосвала по испытательному полигону. На втором этапе испытаний на ГМП были установлены МУФ, изготовленные с параметрами, определенными в результате оптимизации. На рис. 2, а, б изображено расположение МУФ на ГМП карьерного самосвала БЕЛАЗ-7555.

Оценка качества переходных процессов производилась для включения первой передачи с нейтрали ($N \rightarrow 1$) и переключения со второй на третью передачу ($2 \rightarrow 3$). Критериями качества являлись коэффициент динамичности момента на выходном валу k_d , удельная мощности буксования включаемого фрикциона $P_{ф.уд}$, удельная работе буксования включаемого фрикциона $W_{ф.уд}$.

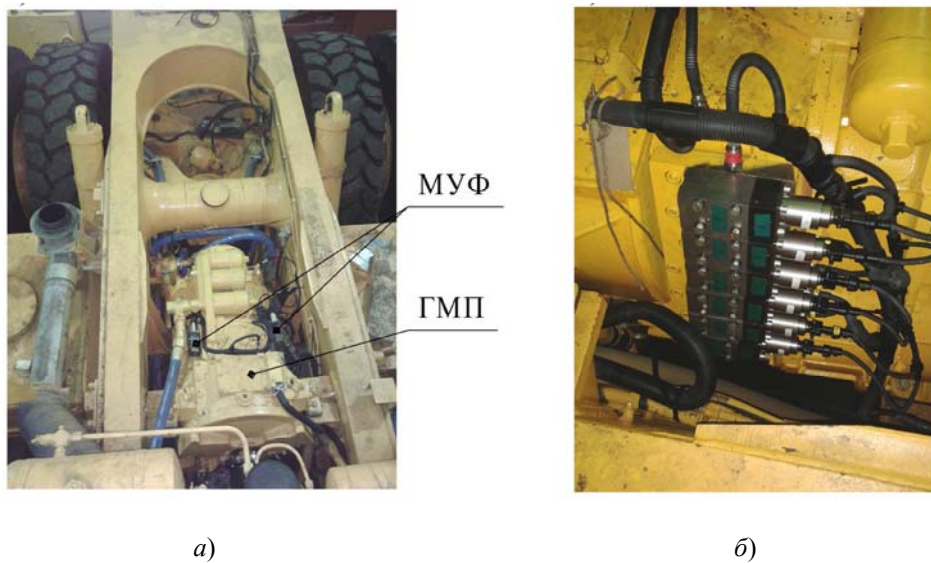


Рис. 2. Расположение МУФ на ГМП

На рис. 3 представлены графики процессов переключения 2 → 3, при этом графики на рис. 3, а, б соответствуют МУФ с исходными параметрами, а на рис. 3, в, г – МУФ с оптимальными параметрами.

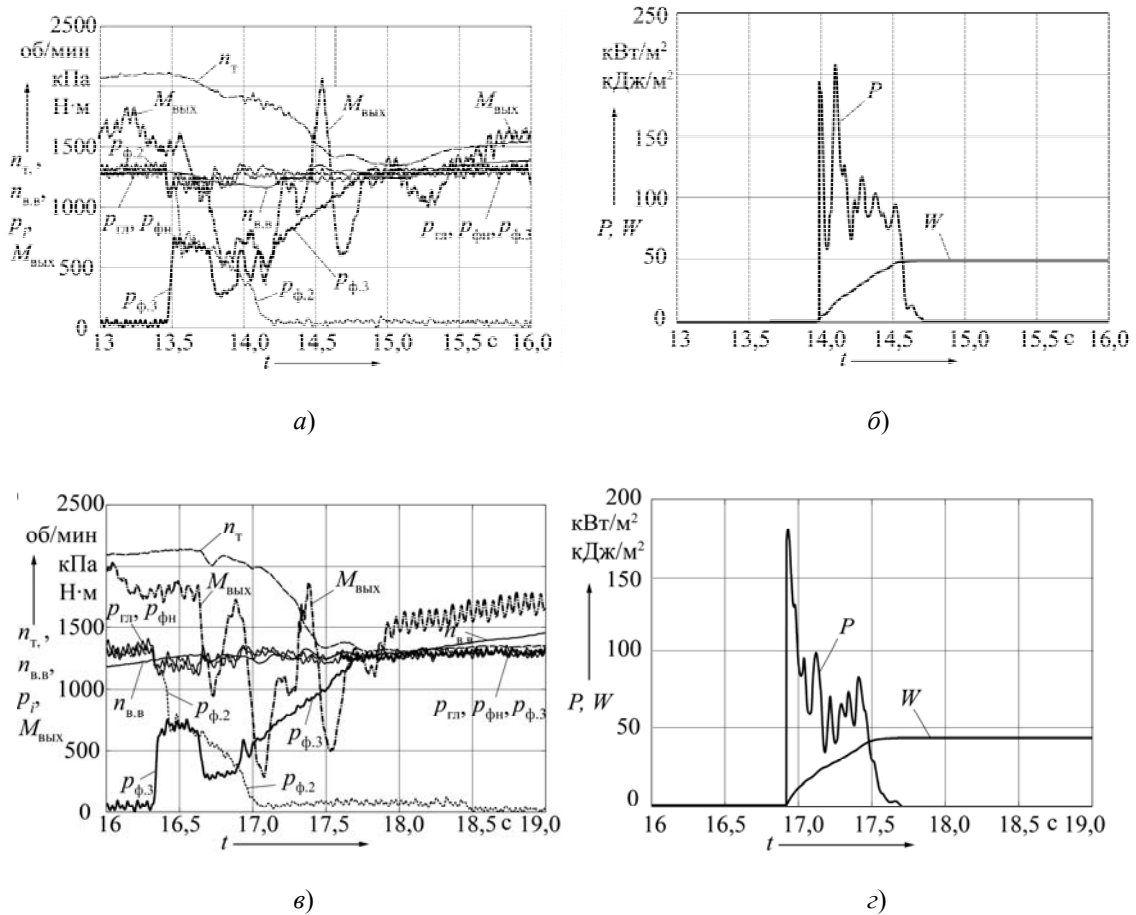


Рис. 3. Графики переходных процессов при переключении 2 → 3

Можно отметить, что процессы переключения передач, полученные при использовании МУФ с оптимальными параметрами (рис. 3, в, г), характеризуются меньшими колебаниями давления в гидроцилиндре фрикциона, а также момента и частоты вращения турбинного вала ГМП. В таблице приведены значения показателей качества процессов переключения передач $N \rightarrow 1$ и $2 \rightarrow 3$.

Значения показателей качества процессов переключения передач

Показатель качества	Переключение $N \rightarrow 1$		Процент улучшения показателя	Переключение $2 \rightarrow 3$		Процент улучшения показателя
	МУФ с исходными параметрами	МУФ с оптимальными параметрами		МУФ с исходными параметрами	МУФ с оптимальными параметрами	
k_d	1,30	1,13	13,1	1,22	1,10	9,8
P_ϕ , кВт/м ²	323,0	271,0	16,1	210,0	180,5	14,0
W_ϕ , кДж/м ²	71,5	60,6	15,2	49,5	43,0	13,1

На основании полученных результатов можно заключить, что описанная выше методика позволила определить оптимальные параметры МУФ, при которых происходит значительное снижение динамических нагрузок в трансмиссии, мощности и работы буксования фрикционов при переключении передач по сравнению с переключениями, осуществляемыми посредством МУФ с исходными параметрами.

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКЕ

А. А. Хорт, К. М. Павлов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Е. Кирпиченко

Для повышения достоверности расчетов технических параметров проектируемых узлов необходимо знание закономерностей изменения триботехнических характеристик от силовых и кинематических параметров и, в первую очередь, от давления в контакте и скорости скольжения. Косвенной формой оценки износостойкости является критерий PV , представляющий произведение нормального давления в контакте на скорость скольжения. Поскольку потеря работоспособности узлов трения, в которых используются полимеры, возможна в основном из-за увеличения температуры в зоне трения выше температуры размягчения и износа, превышающего допустимую величину, то рассматривают предельные PV -критерии при ограничении по температуре $[PV]$ и по допустимому износу.

Трение и изнашивание полимеров и композитов на их основе во многом определяется процессом формирования слоев фрикционного переноса, который зависит от программы проведения испытаний, устанавливающий порядок задания параметров испытаний и продолжительность действия того или иного фактора.

При трении предельное значение нагрузки уменьшается с ростом температуры, величина которой определяется условиями теплоотвода из зоны трения, силой трения, скоростью скольжения и видом смазочного материала.

Программа определения предельных значений параметров трения включает в себя следующие этапы:

- ряд промежуточных предельных значений нагрузки определяется от уровня предельного значения нагрузки в статистике до минимального значения при ступенчатом увеличении скорости скольжения;

- на каждой ступени скорости скольжения испытания проводятся до достижения постоянства температуры и коэффициента трения в зоне контакта. Длительность работы в стабильном режиме составляет 15 мин.;

- скорость скольжения увеличивается на ступень и испытания повторяются на тех же образцах. Скорость скольжения, выше которой отсутствует стабилизация температуры и коэффициента трения в зоне контакта, считается предельной для заданной нагрузки.

Для реализации приведенной программы испытаний разработан измерительный модуль, включающий механизм нагружения и измеритель силы трения.

Механизм нагружения предназначен для создания нормальной постоянной нагрузки на образцы (рис. 1). Механизм нагружения состоит из сдвоенного под углом 90° рычага 1 и установленного с возможностью вращения на горизонтальной оси кронштейна 2. К горизонтальному плечу рычага через стержень 3 прикладывается нагрузка. Стержень 3 входит в состав прецизионного механизма линейного перемещения 4, закрепленный на станине установки 5. С одной стороны стержня 3 устанавливается демпфер 6 для гашения вибраций, возникающих в системе «контактный ролик–щетка». С другой стороны стержня 3 устанавливается грузоприемник 7, в который укладываются грузы 8. В вертикальное плечо рычага 1 устанавливается с возможностью перемещения по резьбе винт 9 с контргайкой 10. Винт 10 через стержень 11, установленный в прецизионной опоре линейного перемещения 12, передает усилие на роликовую опору 13 цангового зажима 14. Цанговый зажим 14, перемещаясь в направляющих корпуса 15, под действием приложенной силы прижимает испытуемый образец – щетку 16 к контактному ролику 17.

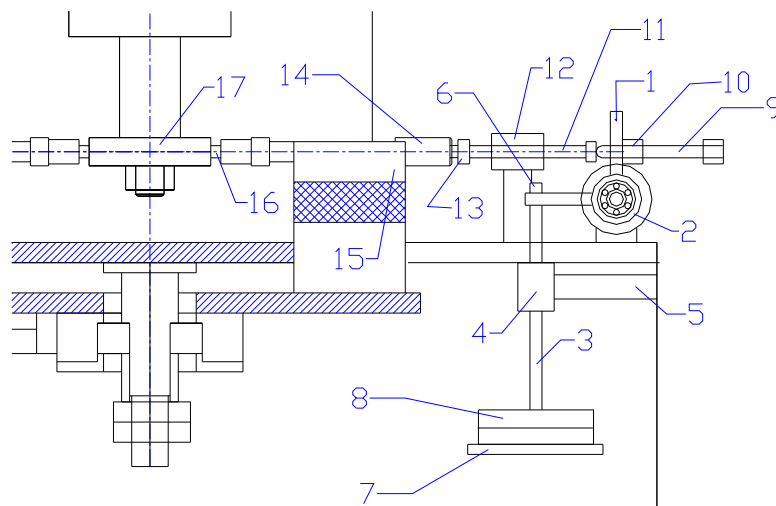


Рис. 1. Механизм нагружения образцов

Трибологические испытания, проведенные с использованием представленного измерительного модуля, позволили сократить время испытаний за счет снижения систематической составляющей погрешности измерений.

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Р. Е. Гутман

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. М. Ткачев

Физико-химические свойства скважинных флюидов необходимы для подсчета запасов углеводородов, а также для расчетов при проектировании, разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Определение этих свойств нефти и газа является неотъемлемой частью процесса добычи и транспорта продукции скважин [1].

Физические свойства нефти и газа могут определяться следующим образом:

– в специализированных лабораториях путем проведения *PVT*-анализа (давление–объем–температура) проб скважинных флюидов на установках, воспроизводящих термобарические скважинные условия. Этот метод является дорогостоящим, требует затрат определенного количества времени, а также его применение ограничено в труднодоступных районах и суровых климатических условиях;

– с помощью корреляционных зависимостей между физическими свойствами пластовой и товарной нефти. Однако корреляционные зависимости выводятся на основе статистических данных свойств скважинных флюидов определенного месторождения или залежи, и могут быть вообще неприменимы для других нефтегазодобывающих районов;

– путем проведения измерений непосредственно в скважине. Такой подход позволяет оперативно оценить свойства скважинного флюида и принять требуемые производственные решения, но по сравнению с *PVT*-исследованиями набор получаемых данных весьма ограничен.

В данной работе основное внимание уделяется экспериментальным методам определения физических свойств углеводородов. На современном этапе физические свойства флюидов, как правило, в подавляющем большинстве случаев определяются экспериментальными методами, т. е. на основании *PVT*-анализа непосредственно глубинных проб пластовой нефти или рекомбинированных проб.

Экспериментальный способ определения физических свойств позволяет достаточно точно определить все необходимые параметры флюидов при условии отбора чистой и представительной пробы. Сущность определения свойств флюида в лабораторных условиях заключается в том, что термобарические условия такого рода испытаний должны быть максимально точно приближенными к пластовым. Экспериментальные системы *PVT* существуют в течение многих лет. Вариации их многочисленны, но общий принцип основан на управлении параметрами *PVT* и измерении вызываемого физического поведения флюида. *PVT*-установки разрабатывались и широко использовались в СССР, однако на данный момент основными производителями являются Vinci Technologies (Франция) – FLUID EVAL; Chandler Engineering (США) – PVT 3000; Schlumberger DBR (Канада) [2] и некоторые др.

Пробы извлекаются из скважин с помощью специальных устройств – пробоотборников, которые могут быть представлены как отдельными устройствами, так и входить в комплект систем других глубинных скважинных исследовательских приборов (например, пластоиспытателей). Эти пробы, как правило, в подавляющем большинстве случаев направляют на анализ во внепромысловые лаборатории. В лабораторных условиях все необходимые свойства флюидов могут быть определены с

помощью *PVT*-установок (давление–объем–температура), в которых воссоздаются пластовые или иные условия, при которых и проходят исследования. Однако определение характеристик флюидов на поверхности по отобранным глубинным пробам может быть проблематичным. Специалистам необходимо не только очень качественно и грамотно проводить *PVT*-анализ, но и отбор проб с целью получения однофазной чистой представительной пробы пластового флюида. Рекомбинирование проб выделенных флюидов на поверхности требует большой тщательности. Часто специалистам нелегко избежать загрязнения проб либо потери давления при их отборе и перевозке, особенно на удаленных объектах. При подъеме пробы на поверхность, а также ее транспортировке к месту проведения анализа в камере пробоотборника или транспортировочной камере могут происходить различные физико-химические процессы (например, выделение газовой фазы из-за падения давления в камере, выделение парафинов и др.), связанные с изменением температуры и давления окружающей среды. Во избежание негативных последствий этих процессов, некоторые из которых могут быть необратимыми и повлиять на результаты анализа, необходимо использовать очень сложное и дорогостоящее оборудование. Сама же транспортировка проб отобранного флюида из труднодоступных районов требует немалых затрат из-за удаленности мест проведения лабораторных исследований. Воссоздание пластовых условий в лаборатории также может быть нелегким процессом.

В промысловых условиях очень часто требуется провести экспресс-анализ пластовых флюидов для принятия оперативных решений. Ведущими производителями *PVT*-установок разработаны их мобильные варианты, которые отчасти решают некоторые проблемы, связанные с транспортировкой, и увеличивают оперативность получения необходимых данных.

Оперативность принятия решений существенно повысится при определении физических свойств нефти непосредственно в скважине в процессе отбора пробы пластового флюида. Такой подход позволяет повысить экономичность измерений за счет снижения времени получения результатов, а также позволит контролировать в динамике представительность отбираемой пробы.

Авторами данной работы был предложен способ отбора глубинного флюида с использованием пробоотборника, конструктивной особенностью которого является наличие дополнительной секции с прибором для определения плотности и вязкости флюида, установленной между пробоотборной камерой и входным клапаном [3]. На рис. 1 показан принципиальный вид предлагаемого измерительного блока пробоотборника.

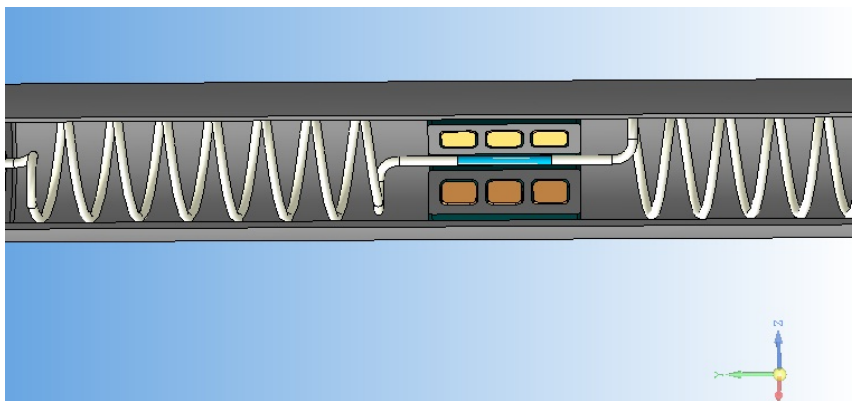


Рис. 1. Принципиальный вид измерительного блока пробоотборника

Принцип измерения вязкости основан на определении времени заполнения отбираемой жидкостью определенного объема пробоотборной камеры, а также градиента давления на входе и выходе из капилляра. Расчет вязкости производится с помощью формулы Пуазейля. Длины и диаметры внутренней полости капилляра должны быть подобраны в соответствии с диапазонами измеряемых вязкостей. Измерение плотности основано на зависимости резонансной частоты колебаний капилляра от плотности флюида, заполняющего его. Похожий принцип используется в лабораторных денсиметрах с U-образной трубкой. Для проведения соответствующих измерений с помощью глубинного прибора он должен быть откалиброван заранее на так называемых эталонных жидкостях, свойства которых известны.

Для обоснования работоспособности данного метода нами были проведены некоторые численные исследования характера истечения жидкости из измерительного капилляра. Для заданных длины и размеров поперечного сечения капилляра, соответствующих диапазону измерения маловязких нефтей (от 0,1 до 1 сП), путем численного моделирования проведена оценка точности измерений вязкости. Эта задача решалась с помощью интегрированного модуля CFX программного пакета ANSYS. Суть задачи заключалась в следующем: используя в качестве эталонной жидкости ацетон, провести оценку динамической вязкости исследуемой нефти одного из Белорусских месторождений. Было выполнено 3 измерения при различных расходах каждой из жидкостей с целью получения более точного результата (таблица).

Результаты модельных исследований по определению вязкости жидкости

Истинное значение вязкости, сП	Расход, см ³ /ч	Вычисленное значение вязкости, сП	Относительная погрешность, %	Среднее значение вычисленной вязкости с учетом корректировочного коэффициента, сП
0,464	100	0,457	-1,42	0,452
	200	0,493	6,06	
	300	0,476	2,61	

Из результатов видно, что абсолютная погрешность определения вязкости данной жидкости не превышает 2,6 %, что является достаточно хорошим результатом. В настоящий момент метод совершенствуется с целью повышения эффективности возможного использования данного прибора в скважинных условиях, а также расширения диапазона измеряемых величин и параметров флюидов.

В заключение можно отметить, что определение достоверных свойств скважинных флюидов в настоящий момент является актуальной задачей, и в будущем их роль будет только увеличиваться. Использование подобного устройства позволит вести контроль за отбором флюида, определять тип отбираемой среды, отбирать представительные пробы, оперативно получать экспресс-данные о свойствах флюидов непосредственно в скважине.

Литература

1. О применении корреляционных зависимостей для определения физических свойств нефтей белорусских месторождений / И. Г. Мельников [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2016. – № 1. – С. 24–30.
2. Разработка методики оценки фазового состояния газовых и газоконденсатных залежей с применением программно-управляемых пробоотборников и мобильных PVT-установок :

отчет о НИР (заключ.) / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; рук. темы В. М. Ткачев. – Гомель, 2014. – 96 с. – X-Д 638-14 РФ.

3. Глубинный пробоотборник : пат. 11014 U Респ. Беларусь, МПК E21 B 49/08 / В. М. Ткачев, В. И. Петрушенко, Р. Е. Гутман, Р. В. Асвинов ; заявители Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого (BY), ООО НПО Союзнефтегазсервис (RU). – № u 20150364 ; заявл. 29.10.2015 ; опубл. 30.04.2016 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 2. – С. 152.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАВИТАЦИОННЫХ ПУЛЬСАТОРОВ ДЛЯ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Г. А. Сиз, А. М. Жуковский

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. М. Ткачев

Кавитационные пульсаторы – устройства для генерации на забое скважины колебаний давления для осуществления виброволнового воздействия на призабойную зону пласта с присущими ему положительными эффектами. Работа таких пульсаторов основана на преобразовании (закручивании, ускорении) потока перекачиваемой жидкости за счет особенностей конструкции и получении на выходе потока в режиме развитой кавитации схлопывания пузырьков парагазовых каверн, что является источником колебаний давления в объеме жидкости и на стенках скважины.

В РУП «ПО «Белоруснефть» были разработаны и опробованы в промышленных условиях и доказавшие свою эффективность конструкции пульсаторов с осевым и радиальным истечением рабочей жидкости [1].

Несмотря на достаточно высокие показатели рабочих конструкций пульсаторов, имеются резервы для ее улучшения. Целесообразно применять конструктивные решения для варианта с осевым истечением жидкости, так как в этом случае максимально доступен единственный относительно свободный габаритный параметр – по длине устройства. В пульсаторе с осевым истечением жидкости формируется вертикальный «факел» и максимальные амплитуды колебаний приходятся на вертикальную ось устройства. Хотя и малый диаметр скважины обеспечивает проникновение колебаний в пласт, было бы целесообразно сместить поток от строго вертикального направления и увеличить влияние на стенки, причем по всей боковой поверхности скважины, для равномерного воздействия по всему продуктивному интервалу.

Целью данной работы является исследование возможности влияния на поток с целью его отклонения путем создания периодического частичного перекрытия сечения потока на выходе. Достичь данного эффекта предполагается размещением в форсунке пульсатора проточки эллиптической формы, выполняющей функцию резонансной камеры и содержащей «беговую дорожку» со стальным шариком (рис. 1). В положении на меньшей полуоси эллипса шар максимально перекрывает сечение потока, достигается максимальное его отклонение от вертикали, под действием закрученного потока жидкости шарик смещается по «беговой дорожке» к вершине большей полуоси, поток при этом отклоняется обратно к вертикали. Шаровая форма препятствия предполагает огибающий характер отклонения потока, а периодичность перекрытия сечения обеспечит и дополнительное ударное воздействие на стенки скважины затопленной струей.

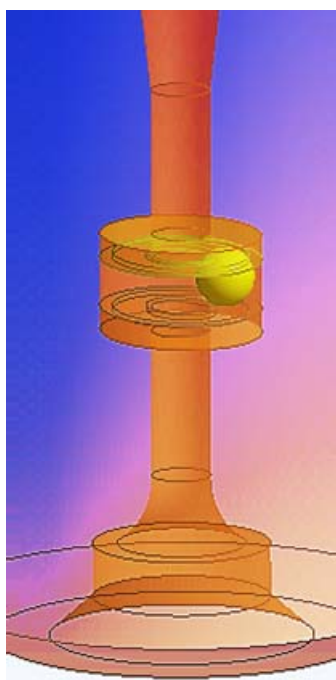


Рис. 1. Конструкция форсунки с эллиптической проточкой

Путем моделирования многофазного турбулентного течения рабочей жидкости с учетом кавитации ставилась задача определения работоспособности предлагаемой конструкции и оптимизации конструктивных параметров.

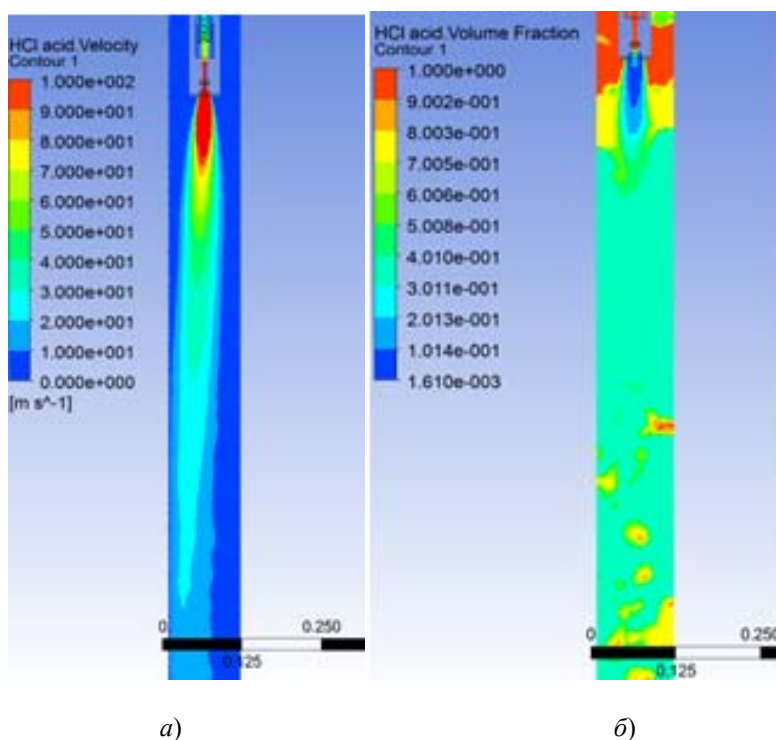


Рис. 2. Результаты модельных исследований:
а – распределение скорости жидкости в моделируемой области;
б – распределение объемных фракций в моделируемой области

3D-модель проточной части устройства исследовалась при следующих граничных условиях: расход на входе – 3–6 л/с и давление на забое – 10–20 МПа. Для расчета многофазного течения использовали модель Эйлера и математическую модель динамики сферической каверны Релея–Плессета с учетом вязкости, сил поверхностного натяжения, влияния газа в каверне, близости границ твердой стенки и давления соседних пузырьков. Исследовались поля распределения давления, скоростей на выходе из устройства и в камере с шариком, линии тока жидкости. На основании полученных результатов определялась работоспособность конструкции в скважинных условиях, а также возможность перемещения шара в эллиптической камере и, как следствие – возможность изменения направления потока жидкости. На рис. 2 показаны распределения скорости жидкости и объемных фракций в вертикальном сечении потока при расположении шара в максимально отклоняющем положении.

Из рисунков видно, что поток жидкости отклоняется в сторону шара. Это говорит о том, что он работает как отклоняющее препятствие. Также на рисунках видно достижение скорости жидкости на выходе из устройства до 250 м/с, наличие множества областей с различной концентрацией парогазовой и жидкой фазы, что говорит о развитой кавитации течения и подтверждает работоспособность конструкции.

Из рис. 3, *а* видно закручивание потока и влияние его на шарик, а из распределения давлений (рис. 3, *б*) видны область повышенного давления в зоне набегающего на шарик потока и область пониженного давления с обратной стороны шара, что обеспечивает его перемещение по эллипсу в направлении закручивания потока жидкости.

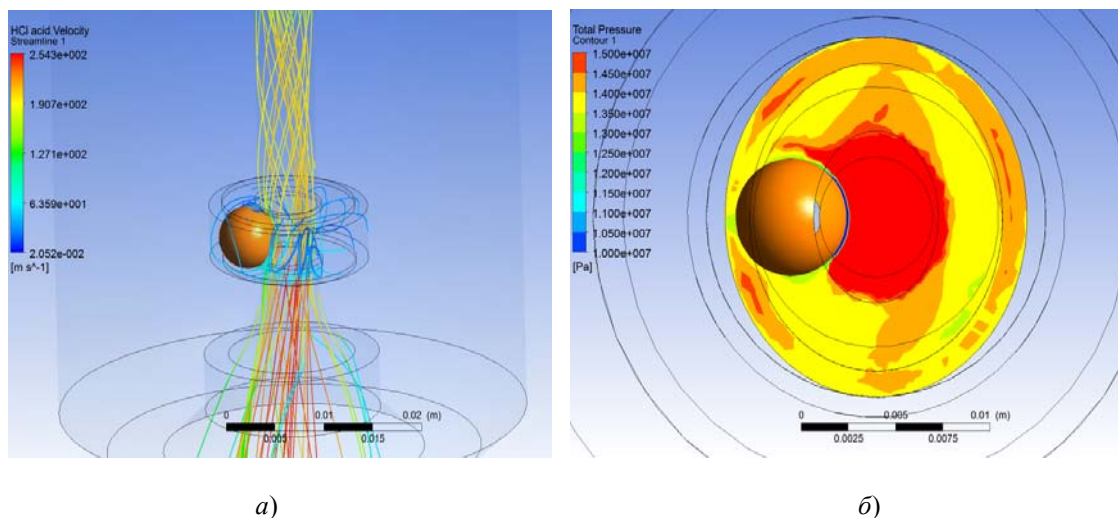


Рис. 3. Результаты модельных исследований: *а* – линии тока жидкости в моделируемой области; *б* – распределение давления в поперечном сечении эллиптической камеры

Подтвердить это предположение можно определив значение окружной силы, воздействующей на шар под действием давления жидкости. Расчетное значение и направление окружной силы показано на рис. 4.

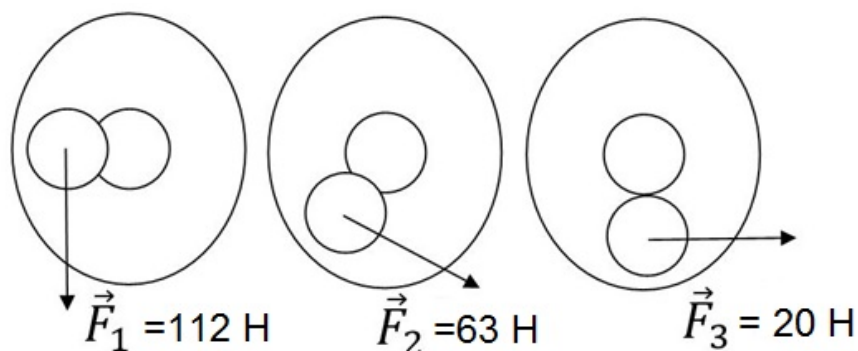


Рис. 4. Направление и значение вектора окружной силы, действующей на шар при различных положениях на траектории эллипса

Согласующиеся с полученным результатом направления векторов окружной силы на шаре наблюдаются и при других положениях в эллиптической камере. Данные векторы показаны на рис. 4. Как видно из рис. 4, направление вектора результирующей силы сохраняется при перемещении его по траектории эллипса. Это позволяет судить о том, что шар в камере будет перемещаться по направлению закручивания потока жидкости в камере.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что предлагаемая конструкция позволяет вызывать периодические колебания потока рабочей жидкости относительно вертикали и тем самым увеличить амплитуду пульсаций давления, а также содержание парогазовой фазы.

Л и т е р а т у р а

1. Моделирование кавитационных процессов в гидродинамических пульсаторах / Д. В. Ткачев [и др.] // Современ. проблемы машиноведения : тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – С. 95–96.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ

А. С. Матвеенков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Эрлифтные установки часто используют для подъема жидкости с больших глубин посредством смешивания сжатого воздуха с жидкостью, вследствие чего смесь поднимается по трубопроводу. Основными недостатками эрлифтов можно назвать малую подачу, низкий КПД, большой расход сжатого воздуха. В рассматриваемой конструкции эрлифта [1] увеличение мощности достигается за счет установки расширяющихся насадок γ со спиралевидными канавками δ , а также за счет придания смесителю I формы гиперboloида вращения первого рода с циклоидальными направляющими. Подобная конструкция облегчает прохождение жидкости и улучшает диспергирование смеси. Для еще большего смешивания газа с жидкостью можно придать газовому потоку импульсные колебания.

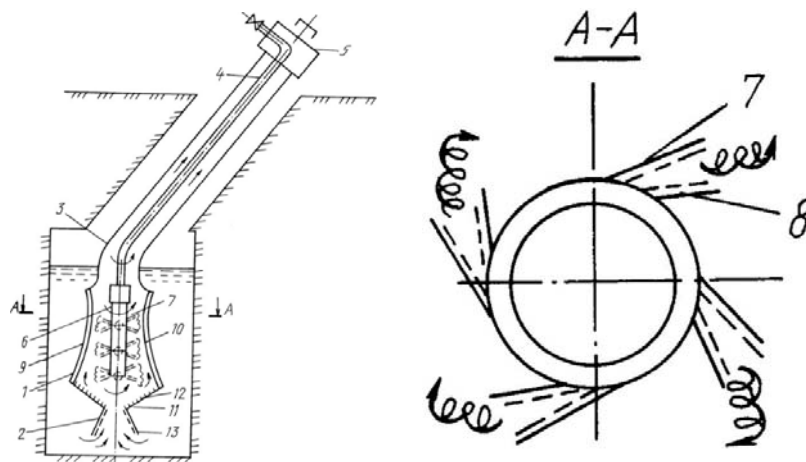


Рис. 1. Устройство эрлифтной установки [1]: 1 – смеситель; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – наклонная подъемная труба; 4 – наклонный воздуховод; 5 – воздухоотделитель; 6 – форсунка; 7 – насадки; 8 – спиралевидные канавки; 9 – гиперболоид вращения первого рода; 10 – циклоидальные направляющие; 11 – опрокинутый усеченный конус; 12 – штыри; 13 – суживающаяся насадка с внутренними криволинейными спиралевидными канавками

Кратко принцип работы установки можно описать следующим образом. Сжатый воздух по воздуховодам под давлением подают в смеситель 1 через форсунку 6 и расширяющиеся насадки 7 со спиралевидными канавками 8 на их внутренней поверхности. В них сжатый воздух закручивается и на выходе приобретает центробежные силы и интенсивно смешивается с рабочей средой, находящейся в подъемной трубе 3, заполненной по закону сообщающихся сосудов. Под действием избыточного давления сжатого воздуха рабочая среда начинает поступать по всасывающему трубопроводу 2 с внутренними спиралевидными канавками 13, в которых закручивается, дополнительно смешиваясь с сжатым воздухом, в подъемную трубу 3. Образующаяся водовоздушная смесь с твердыми включениями увлекается вверх эмульсией за счет разности плотностей рабочих сред, эффекта подсоса при совокупности действия смесителя 1, форсунки 6, всасывающего трубопровода 2, взаимодействие которых создает эффект водоструйного насоса и дефлектора. Подъемная сила рабочей среды возникает также за счет роста ее температуры при контакте с теплым сжатым воздухом, образующим адиабатический процесс, обеспечивающий эффект теплового насоса.

На рис. 1 в разрезе А–А показана схема движения газа через насадки, установленные в данной эрлифтной установке.

Целью данной работы является повышение эффективности работы эрлифтной установки.

Анализ эффективности работы эрлифтной установки можно определить, задавшись параметрами внешней среды и геометрическими размерами насадок.

К параметрам внешней среды относятся:

- атмосферное давление с учетом давления столба жидкости ($P_a = 1,5 \text{ bar}$);
- температура окружающей среды ($t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Необходимые величины геометрических размеров выбираем следующими:

- угол установки насадок ($\alpha = 30^\circ$);
- радиус установки насадок ($r = 0,06 \text{ м}$).

Помимо геометрических размеров и параметров внешней среды, необходимо задать параметры установки:

- расход сжатого воздуха ($Q = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$);
- избыточное давление подаваемого газа ($P_{\text{и}} = 5 \text{ бар}$).

Мощность поступательно-вращающегося газового потока определяем по формуле [2]:

$$W = 0,5 \cdot Q \cdot \rho \left[v \left(1 - (\text{tg } 30^\circ)^2 \right) + \omega^2 \cdot r^2 \right], \quad (1)$$

где Q – расход сжатого воздуха; ρ – плотность воздуха; v – скорость газового потока.

Для заданных условий $W = 0,6963 \text{ кВт}$. При затраченной мощности без учета КПД компрессорной установки $W_i \approx 1 \text{ кВт}$.

Для повышения эффективности эрлифта в его конструкцию можно установить генераторы импульсной частоты для придания потоку газа высокочастотных колебаний. Выполним расчет мощности ультразвукового генератора и сравним его с первоначальным вариантом конструкции установки.

Ультразвуковой генератор Гартмона (рис. 2) устанавливается перед форсункой и подключается к подводящему патрубку. Частота акустических колебаний играет решающую роль в увеличении мощности генератора. Наибольший эффект достигается при резонансных частотах. На основе экспериментальных данных резонанс в ультразвуковом генераторе наступает при $f = 800\text{--}1100 \text{ Гц}$. С учетом необходимости достижения резонансных частот определяются геометрические размеры ультразвукового генератора.

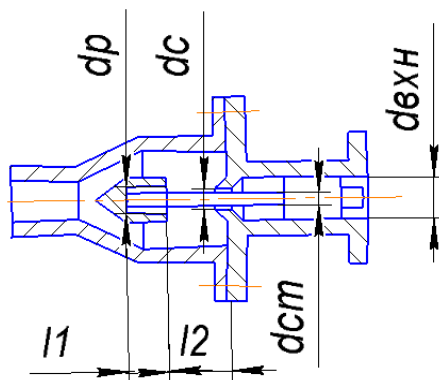


Рис. 2. Акустический газоструйный стержневой генератор Гартмона

Для удобства расчета предварительно определены геометрические параметры:

- глубина резонатора l_1 ; расстояние от сопла до входа в резонатор l_2 ; диаметр резонатора d_p ; диаметр стержня $d_{\text{ст}}$; диаметр сопла d_c .

Частоту генератора найдем по формуле [2]:

$$f = \frac{c}{4} \left(l_1 + 0,4 \cdot l_2 + (d_p - d_{\text{ст}}) \left(0,4 - 0,2 \frac{l_1}{d_c} \right) \right) 0,78 \cdot \sqrt[3]{P_{\text{и}} - 0,93}; \quad (2)$$

$$f = 838 \text{ Гц.}$$

Акустическая мощность, развиваемая единичным генератором, равна [2]:

$$W_a = 295 \left(\left(\frac{d_c - d_{ст}}{100} \right) (1 + 0,8 \cdot \frac{d_{ст}}{d_c}) \right)^2 \sqrt{\frac{P_n - 0,9}{P_a}}; \quad (3)$$

$$W_a = 0,048 \text{ кВт.}$$

Полная мощность газового потока определяется как

$$W_i = W + N \cdot W_a;$$

$$W(t)_i = 0,5 \cdot Q \cdot \rho(t) \left(v^2 (1 - \text{tg}^2 \beta) + \omega^2 \cdot r^2 \right) + N \cdot W_a, \quad (4)$$

где $N = 12$ число генераторов, равное количеству форсунок.

С учетом высокочастотных колебаний и уплотнения газа в импульсе суммарная мощность газового потока составила:

$$W_i = 1,2723 \text{ кВт.}$$

Проведен анализ работы эрлифтов. Определены основные недостатки. Предложен вариант повышения эффективности за счет создания вращательно-поступательно-колебательного потока газа. Установка ультразвуковых генераторов в эрлифтную позволяет увеличить мощность газового потока, диспергирующего газожидкостную смесь, более чем на 50 %, тем самым повышая эффективность работы всей установки в целом.

Литература

1. Пат. 2176037 Российская Федерация / Г. В. Викторов, Н. С. Кобелев. – 2011.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / под ред. И. П. Голямина. – М. : Сов. энцикл., 1979. – 400 с.

АНАЛИЗ ЖИДКОСТНО-КОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

П. О. Кривошеев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. А. Андреевец

На сегодняшний день в самых различных отраслях промышленности нашли широкое применение жидкостно-кольцевые вакуумные насосы, так как многие технологические и химические процессы на производстве должны проходить не под атмосферным нормальным давлением, а в вакууме. Именно для создания среды с необходимым уровнем давления и предназначены вакуумные насосы.

Водокольцевые вакуумные насосы нашли применение в ряде отраслей производства преимущественно благодаря доступности, конструктивной простоте в использовании и обслуживании, высокой надежности, возможности изотермического сжатия газожидкостных смесей, не загрязняя их маслом, в частности, в химической промышленности, где используют их в качестве компрессоров для сжатия газа до 0,6–0,8 МПа, как вакуумные насосы с целью разрежения с абсолютным давлением до 3–5 кПа, а также в качестве химических реакторов для осуществления массообменных процессов между рабочей жидкостью и сжатым газом [1], [2].

Вакуумные насосы с жидкостным ротором используются вместо водоструйных вакуумных насосов для отсоса паровоздушной смеси в паротурбинных установках

тепловых электростанций, снижая расход воды примерно в два раза. Ежегодно несколько тысяч таких установок используются для обеспечения противопожарной безопасности на газовых и нефтяных месторождениях, а также для дегазации рабочей жидкости во время бурения скважин. Кроме того, жидкостно-кольцевые насосы широко применяются в производстве строительных материалов, где их используют для обезгаживания минеральных масс. Насосы данного типа также нашли применение в кондитерском производстве для ускоренного приготовления карамели, для сушки в ряде производств, в доильных установках и др. Их особенностью также является то, что они могут использоваться только в пожаробезопасных процессах и считаются экологически чистыми.

Жидкостно-кольцевой вакуумный насос (далее – ЖКВН) – это механический вакуумный насос с одним вращающимся лопастным ротором, в котором рабочий объем изменяется за счет погружения пластин ротора в жидкость. Является разновидностью пластинчатых газовых насосов [1]–[3].

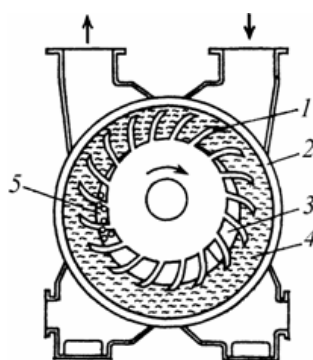


Рис. 1. Жидкостно-кольцевой вакуумный насос: 1 – рабочее колесо; 2 – корпус; 3 – окно всасывания; 4 – рабочая жидкость; 5 – окно нагнетания

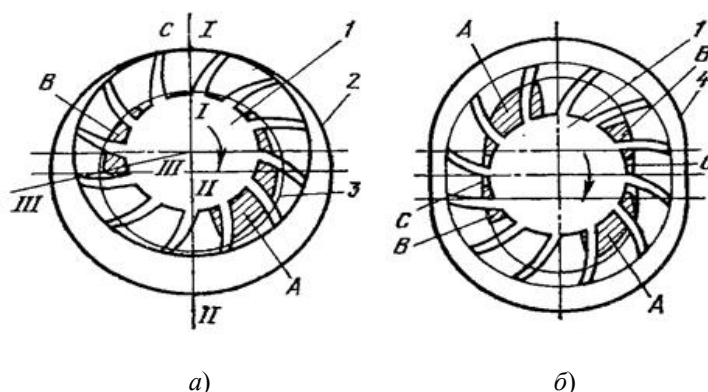


Рис. 2. Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы: а – одноступенчатый; б – двухступенчатый

Основными деталями конструкции водокольцевых насосов являются частично заполняемый рабочей жидкостью корпус 2, имеющий форму цилиндра, эксцентрично расположенное в нем рабочее колесо 1 в виде ротора и две торцевые крышки. К валу ротора крепятся радиальные лопасти, захватывающие воду и отбрасывающие ее к стенкам, в результате чего образуется постоянно вращающееся жидкостное кольцо 4.

Производительность насосов увеличивается при высоком содержании в газах водяного пара, который конденсируется в корпусе, соприкасаясь с находящейся в нем рабочей жидкостью [1], [3].

Основные параметры ЖКВН: подача – до 1800 м³/ч; мощность – от 4 до 40 и более кВт; давление всасывания – 33 мбар; давление сжатия – 2500 мбар; число оборотов – 700–3500 об/мин; вес – 25–2000 кг.

Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы различают по числу рабочих циклов, типу подвода и отвода газа, используемой в кольце жидкости [1], [2].

По числу рабочих циклов ЖКВН делят на вакуумные насосы одноступенчатые и двухступенчатые (рис. 2).

Одноступенчатый водокольцевой вакуумный насос (рис. 3). Машина объемного действия с одним вращающимся лопастным ротором может быть конструктивно выполнена с одной или двумя ступенями откачки. Такие машины могут также успешно работать как компрессоры нагнетания с невысоким избыточным рабочим давлением около 2 бар [1], [4].



Рис. 3. Устройство одноступенчатого ЖКВН

Двухступенчатые водокольцевые вакуумные насосы (рис. 4) являются более сложными машинами с предельным вакуумом 33 мбар. Они имеют две последовательно соединенные ступени откачки и отличаются более высокой производительностью при вакууме от 80 до 300 мбар. Могут успешно работать как компрессоры нагнетания с невысоким избыточным рабочим давлением до 2,5 бар [1], [4].

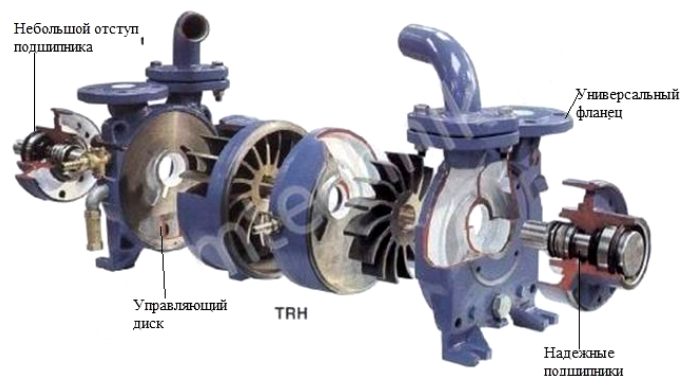


Рис. 4. Устройство двухступенчатого ЖКВН

По типу подвода и отвода откачиваемого газа ЖКВН делят на насосы с осевым (рис. 3, 4) и радиальным (рис. 5) подводом и отводом газа.

При осевом подводе газа в торцовых крышках – выполняют всасывающие окна. Откачиваемый газ подается в рабочие ячейки в осевом направлении через всасывающий патрубок, полости в крышках или в корпусе и всасывающие окна. После сжатия газ выбрасывается в осевом направлении через нагнетательные окна, крышки или корпус в нагнетательный патрубок [1], [5]. Положение внутренней поверхности жидкостного кольца определяется формой и расположением наружной кромки нагнетательного окна. Чем дальше оно находится от центра корпуса, тем тоньше будет жидкостное кольцо и тем больше объем газа, который перетекает в ячейках рабочего колеса из полости нагнетания в полость всасывания. В этой схеме объем «мертвого пространства» в значительной степени зависит от точности изготовления нагнетательных окон. Незначительные отклонения в форме и расположении верхней кромки нагнетательных окон приводят к существенному изменению характеристик вакуумного насоса, особенно в области больших степеней повышения давления.

При радиальном подводе и отводе газа нагнетательные окна находятся в неподвижных конусах, расположенных под лопатками внутри рабочего колеса и являющихся как бы его втулкой. При истечении жидкости из рабочей полости жидкостное кольцо перекрывает наружную кромку этих окон. При цилиндрических конусах перетечки газа через «мертвое пространство» вообще отсутствуют [1], [6].

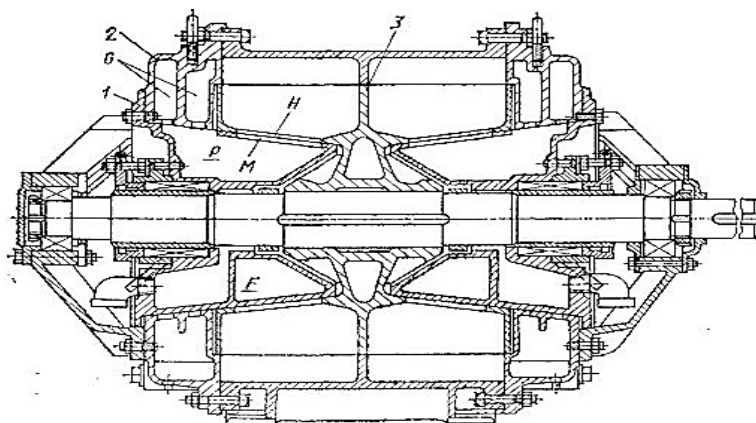


Рис. 5. Радиальный подвод газа

Таким образом ЖКВН широко применяются во многих сферах хозяйствования (около 40 % мирового рынка занимает производство вакуумных насосов и производятся они более 80 лет), так как имеют следующие преимущества: надежность; экономичность; простота конструкции; простота в обращении; долговечность; ремонт без особых затрат.

Однако они также имеют недостатки, ограничивающие область их применения: потери рабочей жидкости с отходящими газами и необходимость ее улавливания и утилизации или рециркуляции; необходимость пополнять объем жидкости в насосе; необходимость охлаждения рабочей жидкости с целью снижения давления ее паров.

Таким насосам нет альтернативы, если речь идет об откачке сложных сред, а именно: влажных и агрессивных газов и смесей, взрывоопасных, механически и химически загрязненных воздушных и газовых потоков.

Литература

1. Райзман, И. А. Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы и компрессоры / И. А. Райзман. – Казань, 1995. – 258 с.

2. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры : учеб. для теплоэнергет. специальностей вузов / В. М. Черкасский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 416 с. : ил.
3. Режим доступа: <http://byeniepro.ru/nasosy/vodokolcevye-vakuumnnye.html>.
4. Режим доступа: <http://www.produzon.ru>.
5. Режим доступа: http://www.brizpump.ru/zhidkostno-kolcevye_vakuumnnye_nasos.
6. Режим доступа: http://megatechnika.com/odnostupenchatye_vakuumnnye_nasosy_s2.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

М. М. Матиевский

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Петухов

Внедрение оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) и использование роботов-манипуляторов в настоящее время актуализировано благодаря появившимся на рынке недорогим и надежным САМ-системам, позволяющим получить управляющую программу (УП) непосредственно на базе 3D-модели детали.

Описанию результатов исследования системы автоматизированного программирования управляющих программ для станков с ЧПУ, а именно – пакета T-Flex ЧПУ, посвящена эта работа. Цель исследования – проверка работоспособности пакета для его практического использования в учебном процессе университета для подготовки инженеров-машиностроителей.

Исследование проводилось на примере создания управляющей программы для фрезерного станка для обработки рамы роликовых коньков и включало выполнение следующих работ:

- 1) изучение интерфейса пакета T-Flex ЧПУ;
- 2) разработка управляющей программы на базе 3D-модели;
- 3) имитация обработки;
- 4) сохранение управляющей программы.

Основными этапами исследования были разработка управляющей программы, имитация обработки и сохранение результатов проектирования.

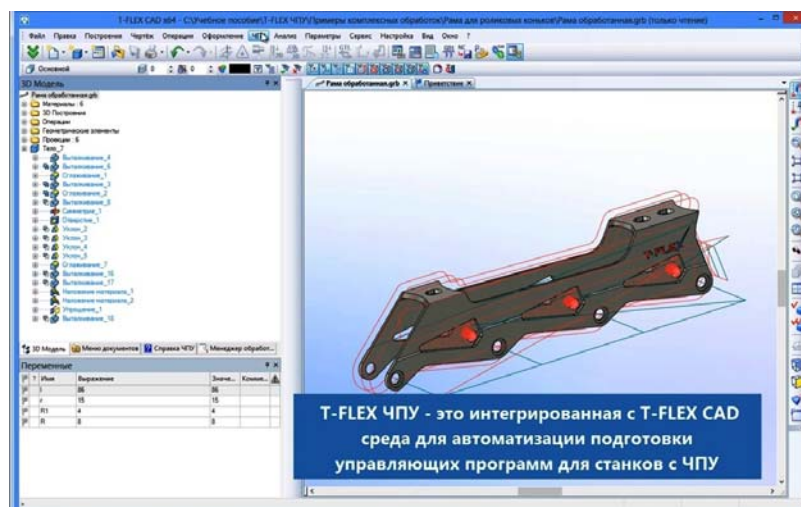


Рис. 1. Вид экрана при работе T-Flex ЧПУ

На этапе изучения интерфейса программы T-Flex ЧПУ было установлено, что T-Flex ЧПУ – это интегрированная с T-Flex CAD среда для автоматизации подготовки управляющих программ (УП). Меню команд «ЧПУ» расположено в текстовом меню системы T-Flex CAD. В частности, команда «Настройка/Приложения» предназначена для запуска приложений. Режимы содержат наборы базовых команд для работы с системой и для создания траекторий 2D- и 3D-обработок различных видов.

На этапе разработки УП на базе 3D-модели были выполнены следующие работы:

- 1) создание инструмента (рис. 2);
- 2) карандашная обработка (рис. 3);
- 3) обработка карманов (рис. 4);
- 4) сверление отверстий (рис. 5);
- 5) обработка контура (рис. 6);
- 6) гравировка (рис. 7).

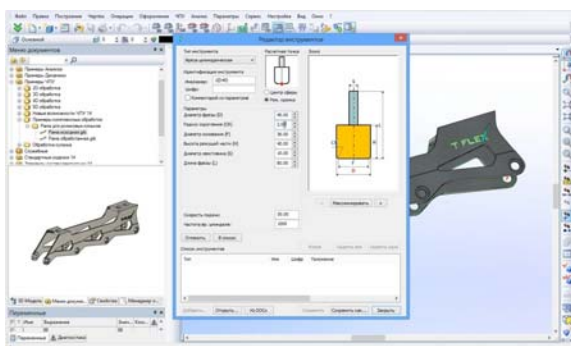


Рис. 2. Иллюстрация работы пакета при создании инструмента

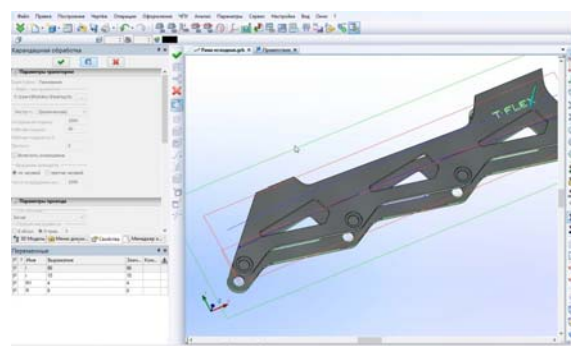


Рис. 3. Иллюстрация работы пакета при карандашной обработке (понижение)

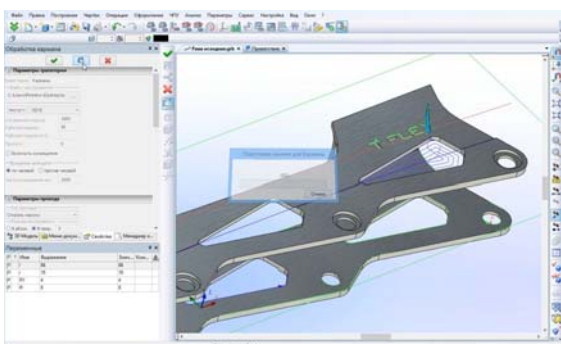


Рис. 4. Иллюстрация работы пакета при обработке карманов (массив)

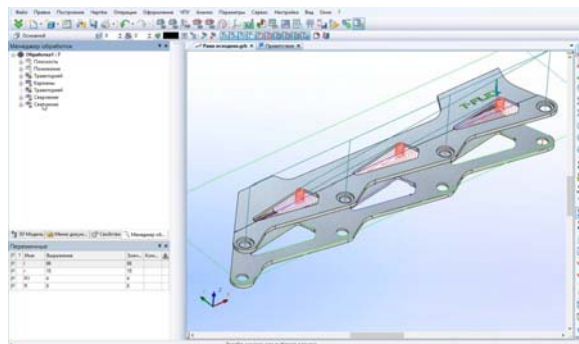


Рис. 5. Иллюстрация работы пакета при сверлении отверстий

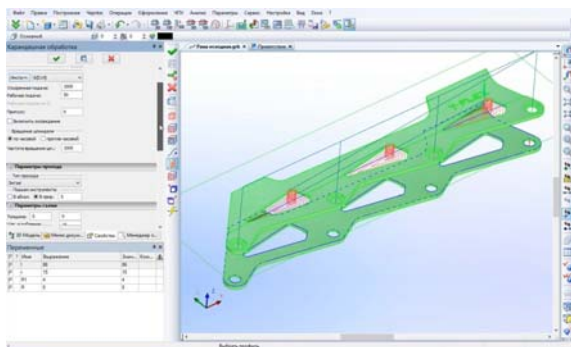


Рис. 6. Иллюстрация работы пакета при обработке контура (фрезерование)

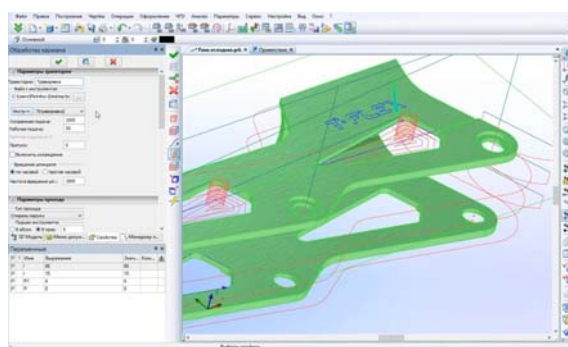


Рис. 7. Иллюстрация работы пакета при гравировке

Работа в режиме имитации обработки организуется следующим образом (см. рис. 8). В окне «Менеджер обработок» представлен древовидный список траекторий и обработок и открыть данное окно можно с помощью команды «ЧПУ/Менеджер обработок» или из панели инструментов. Для настройки системы T-Flex ЧПУ используется команда «ЧПУ/Настройка САМ-системы». Данный флаг отвечает за видимость окна справки. Установленная библиотека примеров показана в окне «Меню документов».

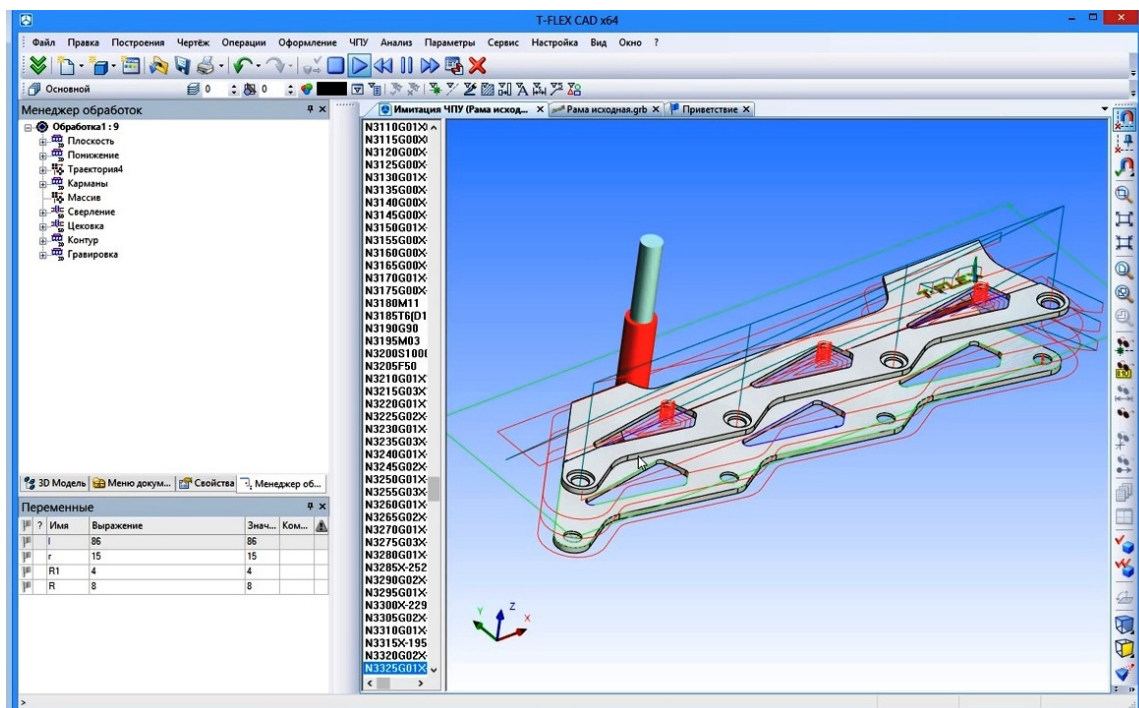


Рис. 8. Иллюстрация работы пакета в режиме имитации обработки

Для сохранения результатов проектирования служит пиктограмма «Создание управляющей программы» (рис. 9). В открывающемся после нажатия на нее окне необходимо выбрать опцию «Добавить...». Затем нужно указать папку для сохранения и задать имя для файла с программой. Сохраненная программа имеет формат базового постпроцессора, для выбора другого постпроцессора нужно задать его в окне задания файла с программой.

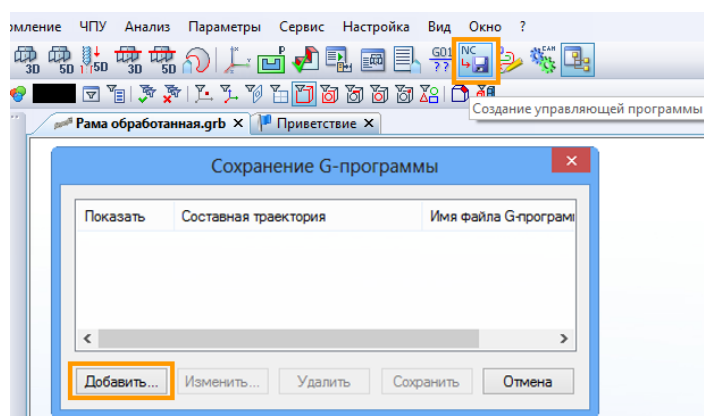


Рис. 9. Иллюстрация работы пакета в режиме сохранения программы

Проведенное исследование показало практическую возможность использования в нашем университете программы T-Flex ЧПУ для изучения процесса автоматизированного получения управляющих программ при выполнении лабораторных работ по ряду дисциплин машиностроительного профиля.

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНТОВАТЕЛЕЙ БУНТОВ КАТАНКИ И АРМАТУРЫ СОРТОПРОКАТНОГО ЦЕХА

Ю. А. Шеметов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель С. Ф. Андреев

Одним из путей повышения производительности машин является увеличение допустимых полезных нагрузок исполнительных механизмов.

Однако неконтролируемое увеличение этих нагрузок приводит к возникновению динамических ошибок и, как следствие – к нарушению запрограммированного закона движения рабочего звена циклового механизма и изменению длительности фаз цикла работы механизма.

Динамической ошибкой позиционирования будем называть разность между фактической координатой положения рабочего органа и программной координатой, полученной кинематическими расчетами без учета случайных силовых факторов.

При оценке степени близости фактического движения рабочего звена к запрограммированному движению приходится принимать во внимание, что технологический процесс происходит на ограниченном отрезке времени, после чего машина либо выключается, либо переходит в другой скоростной режим.

В этой ситуации возможно лишь установить степень точности позиционирования рабочего звена.

К машинам, динамические ошибки которых приводят к нарушению технологичности производственного процесса, относятся кантователи (опрокидыватели) бунтов катанки (арматуры), применяемые в прокатном производстве на СПЦ-2 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (рис. 1).

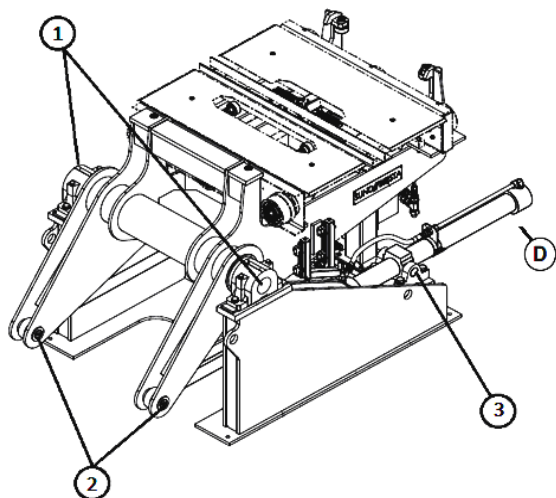


Рис. 1. Кантователь. Общий вид

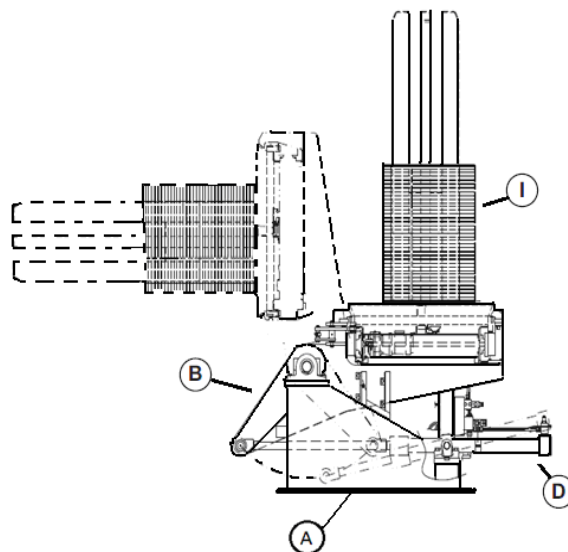


Рис. 2. Опрокидывание паллеты с бунтом катанки

Кантователь предназначен для перемещения бунтов катанки или арматуры из вертикального положения в горизонтальное для дальнейшего навешивания бунтов на крюки, чтобы произвести их дальнейшую транспортировку.

На рис. 2 представлен кантователь с бунтом катанки (арматуры). Стойка (А) кантователя закреплена на фундаменте анкерными болтами. Кантующий рычаг (В) приводит в движение стол кантователя, поворачивая его вместе с паллетой на валу (I).

Принцип работы кантователя состоит в следующем.

Бунты катанки (арматуры) в вертикальном положении на паллетах (I) по конвейеру поступают на кантователь.

Паллета – конструкция, предназначенная для размещения на ней бунтов катанки (арматуры) во время их транспортировки по линии вертикального колесного конвейера.

Опрокидывание паллеты с бунтом происходит с помощью двух гидроцилиндров (D). Скорость движения штоков гидроцилиндров регулируется пропорциональным клапаном. При поступлении паллеты с бунтом на секцию конвейера паллета фиксируется на столе кантователя в нужном положении.

При перекладке бунтов динамические ошибки позиционирования паллеты, находящейся в горизонтальном положении, приводят к тому, что передаточная тележка с вилкой, совершая движение в сторону кантователя, ударяется вилкой в паллету. Это приводит к повышенному износу и возможному разрушению подшипников кантователя, а также к повреждению поверхности катанки, появлению дефектов в виде вмятин или грубых потертостей.

Динамические ошибки позиционирования паллеты с бунтом возникают в результате появления люфтов и зазоров во вращательных кинематических парах (1)–(3) (рис. 1).

Ошибка позиционирования паллеты может возникнуть также в результате превышения номинального значения массы транспортируемого груза. Так, если на паллете «словлено» с бунтоприемника два бунта катанки (арматуры), то общий вес на столе кантователя увеличивается на вес еще одного бунта (2,6 т). Это, в свою очередь, вызывает увеличенный износ подшипников кантователя и приводит к излому болтовых соединений букс подшипников.

В случаях опрокидывания паллеты с двумя бунтами для удержания груза гидроцилиндрами давление в гидросистеме увеличивается с номинального (120 бар) до 145 бар.

Кантование с двумя бунтами выполняется оператором в ручном режиме, в котором точное позиционирование паллеты, без применения датчиков положения, невозможно.

Цель данной работы – разработка алгоритма динамического анализа модели кантователя для повышения точности управления приводами рабочих органов технологического оборудования с учетом динамических ошибок, вызванных износом в кинематических парах.

Учитывая, что люфты и зазоры вносят дополнительную подвижность механизму, сообщая ему избыточные степени свободы, исследуем плоскую динамическую модель с двумя степенями свободы (рис. 3), имеющую нелинейную функцию положения поршня гидроцилиндра [1].

Математическая модель – это система двух дифференциальных уравнений Лагранжа 2-го ряда:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\omega}} - \frac{\partial T}{\partial \omega} = Q_{\varphi}(\varphi, \omega, \xi, \nu) \quad \text{и} \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\nu}} - \frac{\partial T}{\partial \xi} = Q_{\xi}(\varphi, \omega, \xi, \nu).$$

В качестве обобщенных координат выбираем:

- φ – угол поворота кантующего рычага OA ;
- ξ – малые вертикальные смещения в шарнире O с зазором.

Рабочий ход кантователя соответствует интервалу $\pi/4 \leq \varphi \leq 3\pi/4$.

Так как движущий момент на рычаге OA в автоматическом режиме регулируется штоком гидроцилиндра изменением подачи масла пропорциональным клапаном, то обобщенные силы, определяющие усилие на штоке, определяем в соответствии с кинематическим законом движения поршня гидроцилиндра:

$$s(\varphi, \xi) = AO_1(\varphi, \xi) - AO_1(\pi/4, \xi).$$

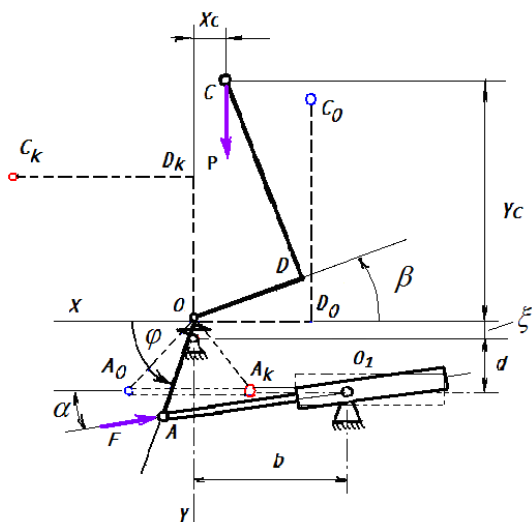


Рис. 3. Плоская динамическая модель кантователя

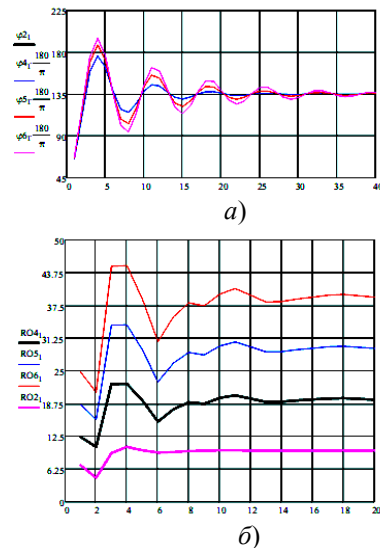


Рис. 4. Графическое решение:
а – угол поворота рычага OA ;
б – значение модуля динамической реакции в шарнире O

Графическое решение полученной системы дифференциальных уравнений решаем в пакете MathCAD с помощью функции Rkadapt. Исследовались функции при вариации массы бунта и параметров гидропривода.

На рис. 4, *а* представлены графики изменения угла поворота кантующего рычага.

На рис. 4, *б* представлены графики изменения динамической реакции шарнира *O* рычага.

Создана динамическая модель кантователя в виде механической системы с двумя степенями свободы. Математическим моделированием установлено влияние различных параметров механизма на точность позиционирования паллеты с бунтом в горизонтальном положении. При этом предложен ряд кардинальных мероприятий по модернизации гидравлического привода.

Литература

1. Вульфсон, И. И. Нелинейные задачи динамики машин / И. И. Вульфсон, М. С. Козловский. – М. : Машиностроение, 1968. – 284 с.
2. Головкин, А. М. Mathcad для студента / А. М. Головкин, И. В. Ганичев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 336 с.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ LS-РЕГУЛЯТОРА НА ЕГО БЫСТРОДЕЙСТВИЕ

М. И. Петоченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

В настоящее время существуют гидравлические схемы гидросистем с объемной (регулируемый насос) и клапанной (нерегулируемый насос) адаптацией к нагрузке. Системы с объемной адаптацией по уровню потерь мощности превосходят системы с клапанной адаптацией, однако при этом значительно уступают им в быстродействии. Недостаточное быстродействие может привести к торможению или полной остановке наиболее нагруженного органа при резком увеличении нагрузки и к потере мощности – при резком уменьшении нагрузки [1].

Как правило, системы с объемной адаптацией включают в себя LS-регулятор разности давления, который поддерживает постоянный перепад давления на дроселирующем элементе, расположенном в напорной линии насоса между насосом и гидродвигателем. Он, как правило, состоит из двух элементов. Первый элемент обычно выполняется в виде направляющего гидроаппарата с цилиндрическим золотником, который настраивается на низкий перепад давления. Второй элемент имеет вид направляющего гидроаппарата с цилиндрическим золотником или клапаном давления, который обеспечивает либо регулирование объема насоса, либо сброс рабочей жидкости, соответственно, при превышении перепада давления настройки первого элемента [2].

Целью данной работы является определение влияния конструктивных особенностей LS-регулятора на его быстродействие и предложение способов по усовершенствованию конструкции.

На степень быстродействия LS-регулятора разности давления влияют величина рабочего давления, параметры рабочей жидкости, конструктивные особенности запорно-регулирующего элемента и т. д. [1].

Рассмотрим способы увеличения быстродействия *LS*-регулятора разности давления на примере усовершенствования наиболее перспективной конструкции (рис. 1), запатентованной корпорацией *Kayaba Industry* в 2011 г. [6]. Схема насосной установки 1 содержит регулируемый аксиально-поршневой насос 2 и *LS*-регулятор 3. Регулируемый насос 2 имеет регулирующий цилиндр 16. Шток поршня цилиндра 16 соединен с наклонным диском насоса 2 (на рисунке не показан) и регулятором 3, благодаря чему регулируется рабочий объем (подача) насоса 2. Напорный трубопровод 4 служит для передачи давления к рабочему органу (на рисунке не показан). Регулятор 3 включает в себя два клапана: 5 и 7. Первый клапан 5 является клапаном управления расходом и представляет собой трехходовой двухпозиционный распределитель, настроенный на низкий перепад давления (до 1 МПа). Второй клапан 7 выполнен в виде клапана давления, предназначенного для сброса рабочей жидкости в бак.

В каждом случае клапаны 5 и 7 имеют регулируемые пружины 6 и 8, соответственно, со стороны которых действует управляющее *LS*-воздействие от рабочего органа (линия 13).

Клапан регулировки расхода 5 имеет первое (а) и второе (b) положение. В первом положении (а) давление P из линии управления 12 воздействует на золотник 10 и смещает его вправо. В этом случае давление P из линии 12 по линии управления 22 (давление A) подается в поршневую полость регулировочного цилиндра 16, подача насоса 2 уменьшается. Это происходит при превышении давлением, со стороны линии 12, усилия, создаваемого регулируемой пружиной 6, и давления в линии *LS*-управления 13. Для ограничения давления, подаваемого в цилиндр в линии 14, установлен дроссель 17. В исходном положении (положении b), показанном на рисунке, линия 14 соединена с линией низкого давления 15, и жидкость из цилиндра 16 вытеснится в бак, за счет действия пружины 18. При этом клапан давления 7 находится в закрытом положении (положение b) и не пропускает жидкость из линии 12 в бак (линия 15), за счет усилия, создаваемого регулируемой пружиной 8 и давления в линии *LS*-управления 13. Открытие клапана 7 происходит в случае, если перепад давления в линиях управления 12 и 13 превысит перепад давления настройки клапана 5.

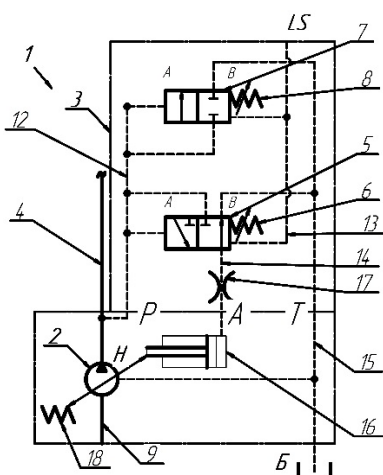


Рис. 1. Схема насосной установки

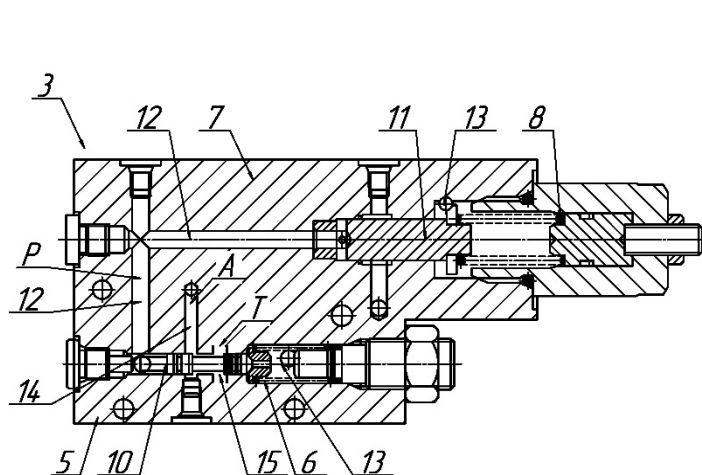


Рис. 2. Конструкция *LS*-регулятора

Для перемещения золотника 10 клапана регулировки расхода 5 вправо необходимо в линии 12 создать некоторое усилие F , способное преодолеть силы сопротив-

ления его перемещению, поэтому быстродействие регулятора будет функционально зависеть от скорости роста давления $P(t)$. Рассмотрим силы, действующие на золотник LS -регулятора при диаметре золотника $d_3 = 0,01$ м, плотности рабочей жидкости $\rho = 980$ кг/м³; ее кинематической вязкости $\nu = 46$ сСт/м³, давлении $P = 25$ МПа и расходе $Q = 80$ л/мин.

Условие перемещения золотника LS -регулятора:

$$\frac{\pi d_3^2}{4} P(t) \geq F_{\text{тр}} + F_{\text{гд}} + F_{\text{п}}.$$

Сила трения $F_{\text{тр}} = F_{\text{тр.п}} + F_{\text{в.тр}}$ состоит из двух составляющих, при этом при движении золотника на него будет действовать сила вязкого (жидкостного) трения $F_{\text{в.тр}}$, а при остановке – сила трения покоя $F_{\text{тр.п}}$, вызванная «зашемлением» золотника за счет несимметричного распределения давления жидкости в рабочем зазоре [1]:

$$F_{\text{тр.п}} = f_{\text{тр.п}} \cdot \pi d_3 \sum l \frac{\Delta P_3}{2}; \quad F_{\text{в.тр}} = \frac{\nu \cdot \rho \cdot \nu_3 \cdot \pi d_3 \cdot \sum l}{\delta}.$$

Таким образом, сила трения при значении коэффициента трения покоя при смазке стальных поверхностей минеральным маслом $f_{\text{тр.п}} = 0,1$ [5]; длине контакта корпуса с золотником $\sum l = 0,009$ м; перепаде давления в зазоре $\Delta P_3 = 1$ МПа; скорости золотника $\nu_3 = 10$ м/с; величине зазора между золотником и корпусом $\delta = 1 \cdot 10^{-6}$ м составляет $F_{\text{тр}} = F_{\text{тр.п}} + F_{\text{в.тр}} \approx 14,1 + 31,8 = 45,9$ Н.

Усилие сжатия пружины $F_{\text{п}}$, обеспечивающее принудительное возвращение золотника в нейтральную позицию, и должно быть $F_{\text{п}} = c(h + x) \geq F_{\text{тр}}$. Усилия сжатия пружины $F_{\text{п}}$ при жесткости $c = 7,15$ Н/мм, ее предварительном сжатии $h = 6,8$ мм и перемещении золотника $x = 1$ мм будет составлять $F_{\text{п}} = 53$ Н.

Гидродинамическая сила в момент открытия золотника препятствует его движению, действуя в сторону закрытия, и определяется [2]:

$$F_{\text{гд}} = 2 \cdot Q \sqrt{\rho \cdot \Delta p_{\text{щ}}} \cdot \cos \alpha,$$

где α – угол, образованный осями золотника и потоком жидкости.

При смещении золотника с острыми кромками на величину $x = 1$ мм гидродинамическая сила будет равна $F_{\text{гд}} \approx 60$ Н [4].

Наиболее значимое влияние на усилие смещение золотника оказывает гидродинамическая сила, что приводит к необходимости дополнительного разгрузки золотника от ее действия. Так, например, при формировании на золотнике треугольных канавок с прямоугольным сечением при прочих равных условиях гидродинамическая сила снижается до $F_{\text{гд}} \approx 7$ Н, но увеличится ход золотника и повысится $F_{\text{п}}$.

Из представленного примера видно, что быстродействие LS -регулятора пропорционально усилию, требуемому для перемещения золотника. Снижение $F_{\text{гд}}$ позво-

ляет снизить потребное усилие перемещения золотника с 144,8 до 91,8 Н, что соответствует снижению $P(t)$ и повышению быстродействию регулятора в 1,5 раза.

Литература

1. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.
2. Васильченко, В. А. Гидравлическое оборудование мобильных машин : справочник / В. А. Васильченко. – М. : Машиностроение, 1983. – 301 с.
3. Гийон, М. Исследование и расчет гидравлических систем / М. Гийон. – М. : Машиностроение, 1964. – 388 с.
4. Лаевский, Д. В. Моделирование процессов течения жидкости в проточной части гидрораспределителя, форсированного по давлению / Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 2 (53). – С. 17–24.
5. Ориентировочные коэффициенты трения. – Режим доступа: http://www.osntm.ru/kt_tren.html. – Дата доступа: 25.03.2017.
6. Пат. 7,866,875 В2 US. Concrete agitating drum driving device / Masaya Abe, Kunihiro Ando, Yoshihito Iwasaki ; заявитель и патентообладатель Kayaba Industry Co. ; заявл. 01.06.2007 ; опубл. 11.01.2011. – 14 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В ТРУБЕ ИЗ КОМПОЗИТОВ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ И РЕЛАКСАЦИИ

Е. А. Голубева, Р. А. Аль-Абси

*Учреждение образования «Гомельский государственный университет
имени Ф. Скорины», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. В. Можаровский

Композиционные материалы очень востребованы в строительстве, машиностроении, теплоэнергетике и других отраслях. При расчетах часто композитные материалы представляются в виде анизотропного материала с упругими свойствами [1]. Для решения упругих задач механики композитов разработано много методик, но эти методики не учитываются при расчетах вязкоупругих свойств композитов. Следует отметить, что теория вязкоупругости в основном применяется при исследовании ползучести и релаксации композитных материалов [2]. В последнее время все чаще в промышленности используются трубы из композитных материалов на основе полимеров, которым свойственны явления ползучести и релаксации, т. е. зависимость между напряжением и деформациями материала содержит время в явном виде [3], [4]. Одной из основных задач расчета композитных материалов является выбор ядер ползучести и релаксации, входящих в интегральные физические соотношения, описывающие связь напряжений и деформаций. В этом случае нужно определять резольвенту и параметры ядер ползучести и релаксации.

В данной работе представлен процесс реализации расчета напряжений и деформаций неоднородной слоистой трубы с учетом явлений вязкоупругости, учитывающая ядра ползучести и релаксации, представленные в работе [5]. При реализации расчета использовались аналитические, численные и экспериментальные методы исследования. Рассматривалась слоистая труба из композита с функционально-градиентными свойствами под действием внутреннего давления с внутренним радиусом a и внешним радиусом R ; P – давление, оказанное на внутреннюю поверхность (рис. 1).

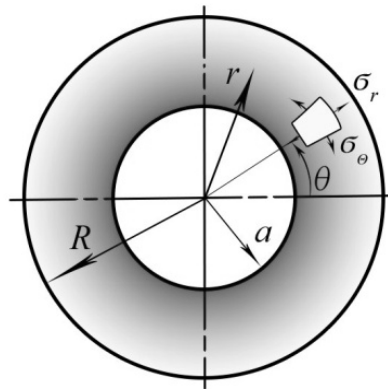


Рис. 1. Слоистая труба

При исследовании напряженно-деформированного состояния слоистой трубы используем методы расчета, представленные в работе [6]. На основании решения упругой задачи для неоднородной слоистой трубы рассматривали вязкоупругий случай, в котором характеристики трубы изменяются во времени. Для реализации расчета напряженно-деформированного состояния трубы использовали параметры различных ядер ползучести и релаксации, входящие в интегральные уравнения теории вязкоупругости с применением принципа Вольтерра. Ядра ползучести и релаксации связаны между собой интегральным соотношением, характеризуют основные механические свойства вязкоупругих материалов и входят в определяющие уравнения, устанавливающие зависимость между напряжениями, деформациями и временем.

При постановке краевой задачи использовали теорию линейной вязкоупругости, дифференциальные уравнения в частных производных и численные решения краевой задачи. Функции, основанные на свойствах функции Миттаг–Леффлера, строятся по результатам экспериментов на ползучесть при постоянных напряжениях или, соответственно, на релаксацию при фиксированных деформациях.

Апробировали решение вязкоупругой задачи для слоистых труб и методы определения параметров различных ядер, таких, как Ржаницына, Работнова, Колтунова в вязкоупругой модели [3]. Реологические параметры ядер определяются по методам наименьших квадратов и интегральных преобразований.

Учитывая физико-механические свойства, были построены графики изменения напряжений деформаций во времени неоднородной слоистой трубы с учетом явлений ползучести и релаксации (рис. 2).

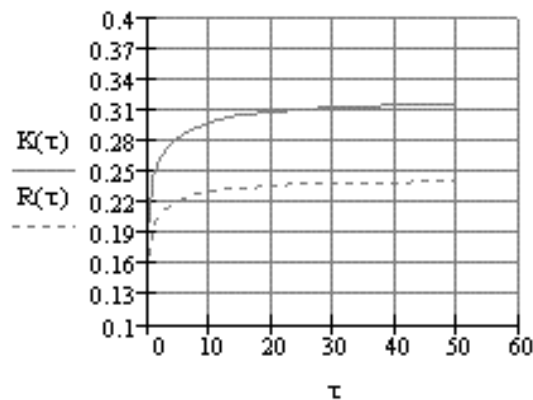


Рис. 2. Графики коэффициентов для напряжения и перемещения в трубе с учетом ползучести и релаксации

Составлена компьютерная программа на языке Delphi, которая осуществляет сравнение результатов, полученных при реализации расчета напряженно-деформированного состояния неоднородных слоистых труб с учетом явлений ползучести и релаксации. На рис. 3 изображено окно ввода исходных данных. После нажатия клавиши «Вычислить» программа по заранее определенному алгоритму, считает коэффициенты A и B и строит графики распределения напряжения и перемещения в цилиндрической трубе (рис. 4). Тестирование программы осуществлялось в сравнении с результатами других исследователей, полученных при расчете напряжения и деформации в трубе из композиционных материалов. Предложенная методика может применяться в инженерных расчетах для различных конструкций из неоднородных материалов.

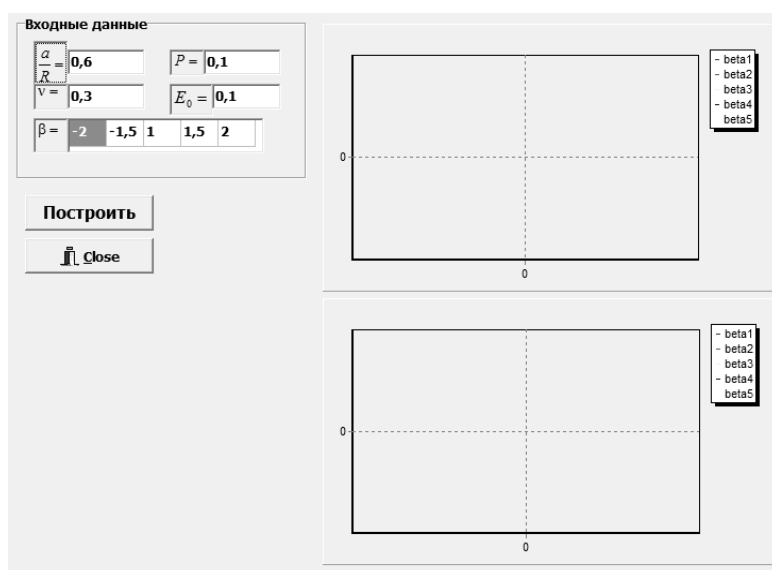


Рис. 3. Главное окно программы

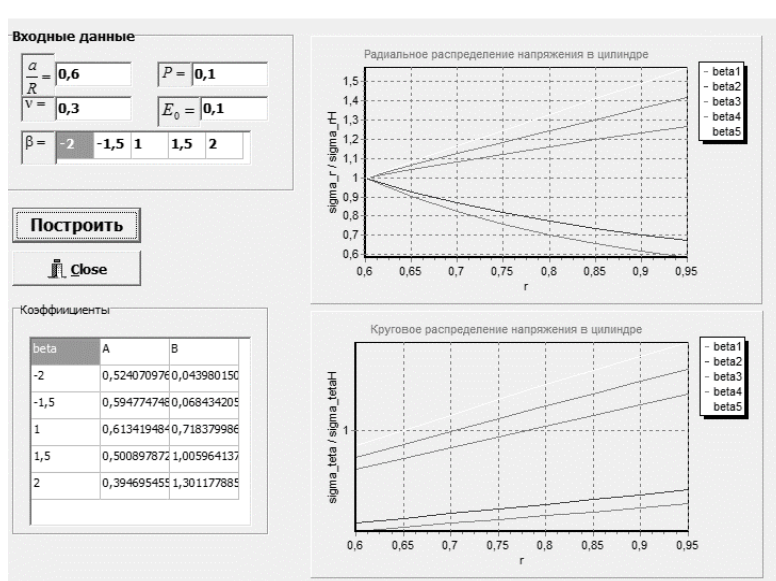


Рис. 4. Результаты расчетов и графики распределения напряжения и перемещения в трубе

Литература

1. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела / С. Г. Лехницкий. – М., 1977. – 416 с.
2. Колтунов, М. А. Ползучесть и релаксация / М. А. Колтунов. – М., 1976. – 276 с.
3. Работнов, Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю. Н. Работнов. – М., 1966. – 328 с.
4. Бугаков, И. И. Ползучесть полимерных материалов / И. И. Бугаков – М., 1973. – 288 с.
5. Можаровский, В. В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Минск, 1988. – 271 с.
6. Tutuncu, N. Exact solutions for stresses in functionally graded pressure vessels / N. Tutuncu, M. Ozturk. – Composites : Part B 32, 2001. – P. 683–686.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ С ЭКСЦЕНТРИЧНО И НАКЛОННО РАСПОЛОЖЕННЫМИ САТЕЛЛИТАМИ

В. Л. Юркова, Д. Я. Якубович

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь

Научный руководитель П. Н. Громько

Планетарная прецессионная передача – это эксцентриковая передача с наклонным расположением сателлита, создаваемым за счет применения в конструкции передачи входного вала, часть рабочей поверхности которого расположена наклонно к оси его вращения [1].

Проведем сравнительный анализ двух вариантов эксцентриковой передачи с эксцентрично и наклонно расположенными сателлитами. На рис. 1 показаны компьютерные модели эксцентриковой передачи: эксцентриковая цевочная передача, у которой кривошип расположен эксцентрично оси входного вала (рис. 1, а), и прецессионная цевочная передача, у которой кривошип расположен наклонно к оси входного вала (рис. 1, б). Причем в последней для создания полносопряженного зацепления применены ролики конической формы.

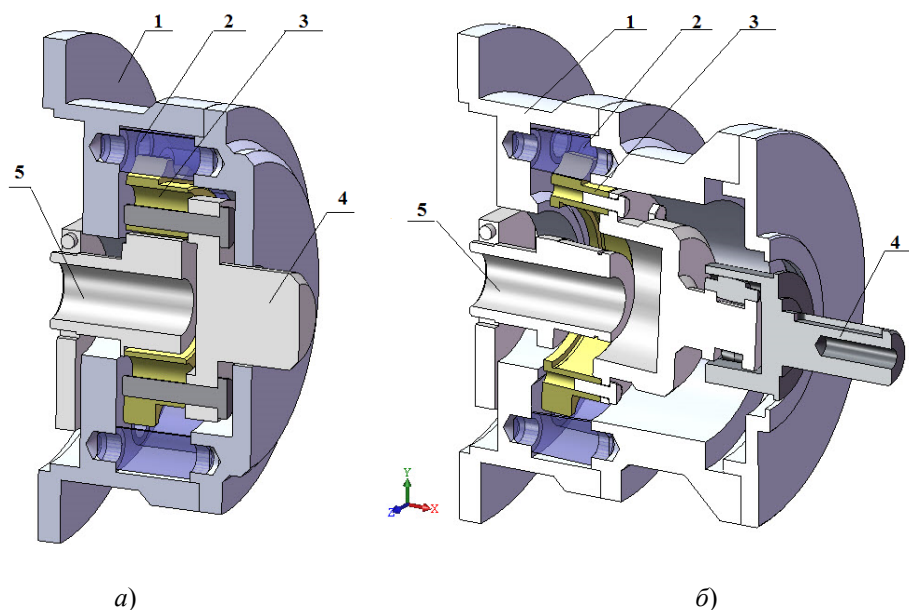


Рис. 1. Компьютерные модели эксцентриковой передачи с эксцентрично (а) и наклонно (б) расположенными кривошипами: 1 – корпус; 2 – ролик; 3 – сателлит; 4 – выходной вал; 5 – эксцентрично расположенный кривошип; 6 – наклонно расположенный кривошип

Зубья сателлита в сравниваемых вариантах эксцентриковой передачи представляют собой зубья звездочки цепной передачи (рис. 2). Этот технологичный профиль зубьев позволяет реализовать одно из основных достоинств сравниваемых передач – возможность их изготовления без применения специального оборудования с помощью стандартного режущего инструмента.



Рис. 2. Зубья сателлита сравниваемых вариантов эксцентриковой передачи

Следует отметить, что габаритные размеры, определяемые расположением роликов в корпусе передачи, а также количество зубьев и роликов были подобраны у сравниваемых передач одинаковыми.

Результаты компьютерных исследований сравниваемых вариантов передач позволили сделать следующие выводы: КПД прецессионных передач составляет около 93 %, что на 7–10 % выше, чем у цевочных передач с эксцентриковым расположением кривошипа (рис. 3, 4). Кинематическая точность вращения выходного вала имеет у сравниваемых вариантов одинаковое значение (рис. 5, 6).

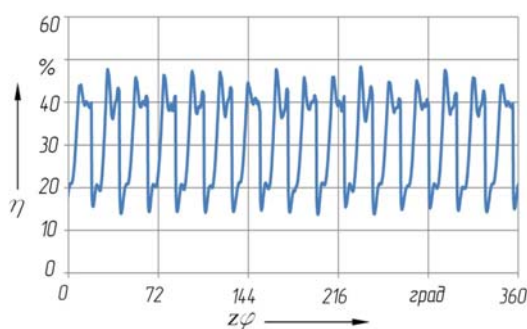


Рис. 3. График зависимости КПД цевочной передачи с эксцентриковым расположением кривошипа от угла поворота входного вала

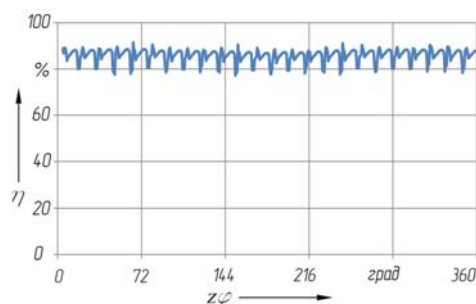


Рис. 4. График зависимости КПД прецессионной передачи от угла поворота входного вала

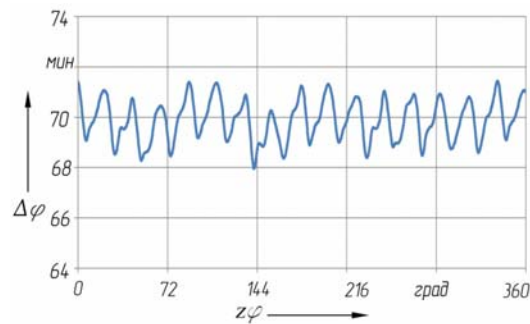


Рис. 5. График зависимости кинематической погрешности цевочной передачи с эксцентриковым расположением кривошипа от угла поворота входного вала

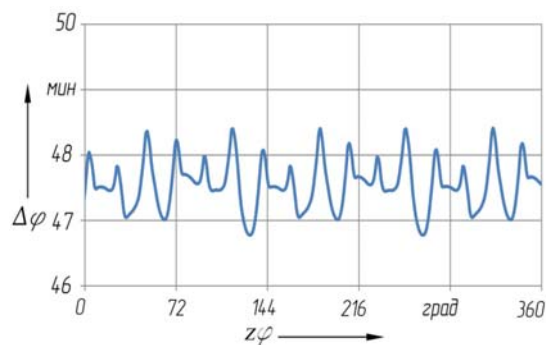


Рис. 6. График зависимости кинематической погрешности прецессионной передачи от угла поворота входного вала

Таким образом, результаты компьютерных исследований позволяют сделать вывод, что достичь относительно высоких значений КПД при удовлетворяющей потребителях плавности вращения выходного вала можно, используя структуру прецессионной передачи.

Литература

1. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач : монография / П. Н. Громько [и др.] ; под общ. ред. П. Н. Громько. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – 271 с. : ил.
2. Проектирование прецессионной передачи с различными типами взаимодействия звеньев зацепления : монография / П. Н. Громько [и др.]. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – 273 с. : ил.

РАЗГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА РОТОРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

М. С. Мельниченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. А. Андреев

Для различных систем водоснабжения и трубопроводного транспорта применяют центробежные насосы разных конструкций, но для всех типов насосов и условий эксплуатации общим являются действующие силы на рабочие колеса.

Во время работы центробежного насоса на его ротор действует сложная система сил. В случае применения в насосе рабочих колес одностороннего входа с проходным валом (рис. 1), среди действующих сил наибольшей по абсолютному значению будет являться осевая сила [1]–[4]. Причина ее возникновения – отсутствие симметрии рабочего колеса относительно плоскости перпендикулярной оси ротора. Площадь внешней поверхности основного диска, находящаяся под давлением нагнетания p_2 , больше аналогичной поверхности покрывающего диска, что приводит к возникновению статической силы давления, направленной в сторону входной воронки. В области от r_2 до r_y давления справа и слева равны и уравниваются. В области от r_y до r_b давление слева, равное давлению у входа в насос, значительно меньше, чем справа. Это ведет к возникновению осевой силы, равной объему эпюры разности давлений на правую и левую наружные поверхности рабочего колеса.

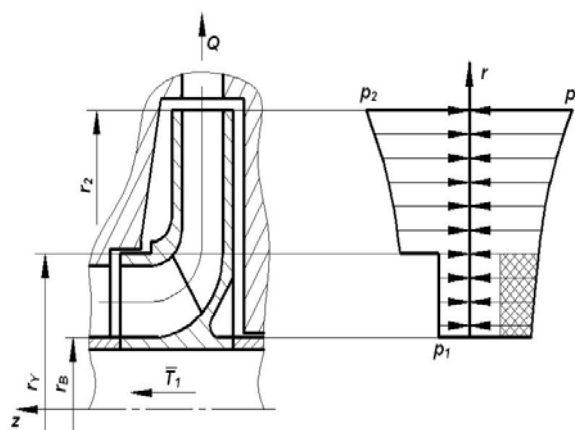


Рис. 1. Схема распределения давления по боковым поверхностям рабочего колеса

Приближенно осевое усилие на роторе насоса можно определить по уравнению [3]:

$$A = \pi(r_y^2 - r_b^2)\gamma \cdot H, \text{ Н},$$

где H – напор насоса, м; r_y – радиус входной воронки, м; r_b – радиус втулки, м.

Осевую силу можно уравновесить с помощью следующих конструктивных способов.

1. Применение рабочего колеса двустороннего входа (рис. 2, а). Самый эффективный способ осевой разгрузки ротора в одноступенчатых насосах [1]–[4]. Однако применяется при больших расходах.

2. Применение симметричных щелевых уплотнений (рис. 2, б). Для выравнивания сил давления на основной и покрывающий диски заднее щелевое уплотнение располагается на одном уровне с передним. Полость Б соединяется с полостью А разгрузочными отверстиями в основном диске рабочего колеса или обводной трубой (показана пунктиром). При таком способе снижается КПД на 3–4 % из-за увеличения объемных потерь и нарушения структуры потока на входе в рабочее колесо [1]–[4].

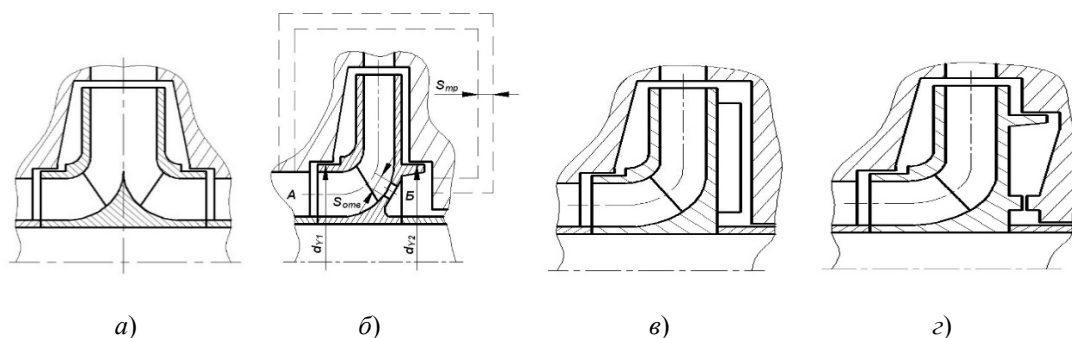


Рис. 2. Способы уравнивания осевой силы в центробежных одноступенчатых насосах: *a* – рабочее колесо двухстороннего входа; *б* – симметричные щелевые уплотнения и разгрузочные отверстия; *в* – рабочее колесо с импеллером; *з* – переменный торцовый дроссель

3. Установка радиальных ребер (импеллеров) на основном диске рабочего колеса (рис. 2, *в*). Импеллер закручивает жидкость в задней пазухе, изменяя эпюру давления. Применение импеллеров связано с дополнительной затратой мощности и снижением КПД насоса примерно на 3–5 %. Такой способ разгрузки часто применяется в насосах, перекачивающих загрязненные жидкости [1]–[4].

4. Уравнивание с помощью переменного торцового дросселя (рис. 2, *з*). Наиболее экономичный способ из-за автоматического уравнивания сил давления на обе стороны рабочего колеса с помощью переменного дросселя, проводимость которого изменяется при осевом смещении ротора [1]–[4].

5. Симметричное расположение групп рабочих колес (рис. 3, *a*). Рабочие колеса одностороннего входа насаживаются на вал, причем одна группа колес направлена входными воронками противоположно направлению входных воронок другой группы. В результате осевые силы обеих групп рабочих колес взаимно уравниваются. Недостатком этого способа разгрузки являются дополнительные гидравлические потери, увеличенные габариты и металлоемкость, усложнение отливок и конструкции в целом [1]–[4].

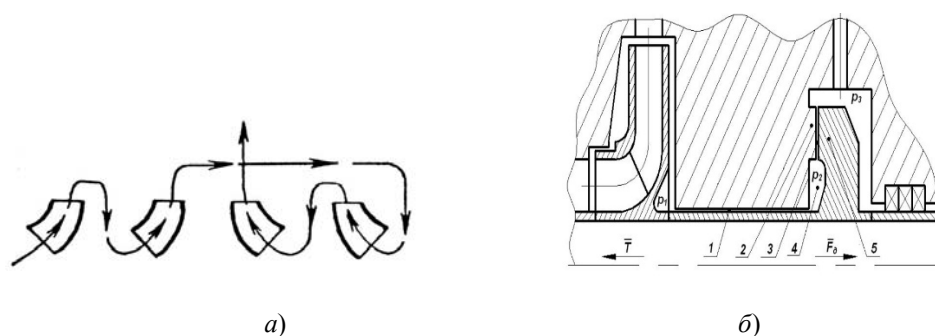


Рис. 3. Способы уравнивания осевой силы в центробежных многоступенчатых насосах: *a* – симметричное расположение групп рабочих колес; *б* – гидравлическая пята

6. Применение гидравлической пяты (рис. 3, *б*). Наиболее распространенный способ уравнивания осевой силы в насосах секционного типа. Гидропята – это саморегулируемое устройство, имеет малые утечки жидкости. К недостаткам отно-

сятся большая сложность в изготовлении и сборке, а также чувствительность к парообразованию в насосе [1]–[4].

При проектировании рабочего колеса на основе теории подобия [1] в качестве модели был выбран насос типа X-80-50-250 (рис. 4), в котором в качестве разгрузочного устройства используются отверстия в ведущем диске рабочего колеса и симметричные щелевые уплотнения [5]. Для заданных исходных данных: напор на выходе из насоса $H = 76,24$ м; подача $Q = 12$ л/с; геометрическая высота всасывания $h_{г.в} = 3$ м; скорость движения жидкости во всасывающем трубопроводе $v = 0,9$ м/с; потери во всасывающем трубопроводе $\Delta h_{в.с} = 2,38$ м; плотность воды при 15°C $\rho = 999,1$ кг/м³; атмосферное давление $p_{атм} = 98$ кПа.

Давления на входе в насос p_1 и на выходе из насоса p_2 определяются по формулам [1], [3]:

$$p_1 = p_{атм} - h_{г.в} \cdot \rho \cdot g - \frac{\rho \cdot v^2}{2} - \rho \cdot g \cdot \Delta h_{в.с} = 44587,02 \text{ Па}; \quad p_2 = \rho \cdot g \cdot H = 747241,23 \text{ Па}.$$

В проектируемом рабочем колесе радиусы $r_y = 42,5$ мм и $r_b = 17$ мм. Таким образом осевая сила, возникающая под действием разности давлений, равна $A = 3560$ Н.

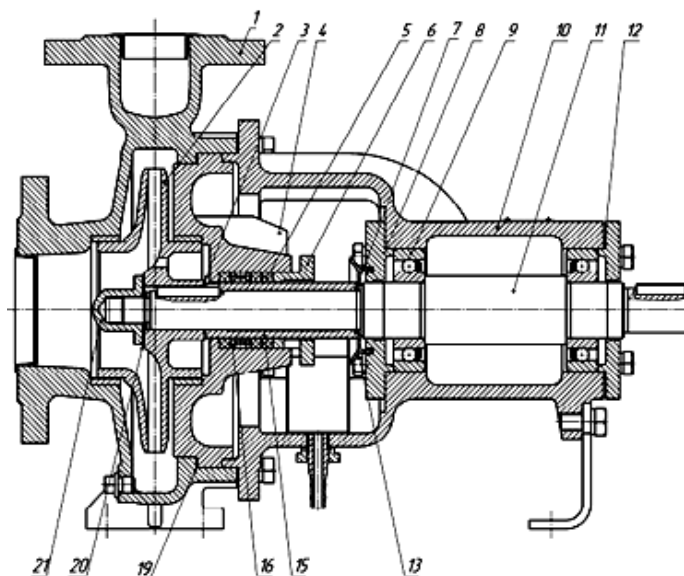


Рис. 4. Насос X-80-50-250

Площадь разгрузочных отверстий выбирают из условия [1], [3]:

$$F_{тр} (\sum F_{отв}) = (4 - 5) \pi \cdot D_y \delta = 0,264 - 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2,$$

где $D_y = 42,5$ мм – диаметр уплотнения; $\delta = 0,5$ мм – зазор щелевого уплотнения.

При 10 разгрузочных отверстиях диаметр одного отверстия составил $d = 6,5$ мм.

Рассмотрев способы уравнивания роторов центробежных насосов, можно сделать вывод: для центробежных одноступенчатых насосов наиболее широко используется применение щелевых уплотнений и разгрузочных отверстий. Данный

способ уравнивания может быть применен при проектировании рабочих колес с использованием формул теории подобия.

Литература

1. Михайлов, А. К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. – М. : Машиностроение, 1977.
2. Лопастные насосы : справочник / В. А. Зимницкий [и др.] ; под общ. ред. В. А. Зимницкого и В. А. Умова. – Л. : Машиностроение. Ленинград. отделение, 1986. – 334 с. : ил.
3. Байбиков, А. С. Гидродинамика вспомогательных тракторов лопастных машин / А. С. Байбикова, В. К. Карахьян. – М. : Машиностроение, 1982. – 112 с.
4. Гидравлика, гидромашины и гидропривод : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / под ред. С. П. Стесина. – М. : Академия, 2005. – 336 с.
5. Каталог продукции фирмы ОАО «ГМС Насосы». – Режим доступа: <http://www.hms-livgidromash.ru/catalog/konsolnye-nasosy/>.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА УТЕЧКИ ЧЕРЕЗ РЕЗИНОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ШТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО УЗЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПЛОТНЕНИЙ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. С. Давыдов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. А. Андреевец

Гидравлические цилиндры используются в механических устройствах, где необходимы возвратно-поступательные движения. Уплотнительный элемент является одной из самых важных деталей цилиндра. Уплотнительные элементы устанавливаются в соответствующую канавку с предварительным натягом [1]–[3]. На рис. 1, а показан уплотнительный элемент в свободном состоянии, в корпусе после монтажа уплотнения должен быть предварительный натяг, благодаря которому уплотнительный элемент может работать при низком давлении, и свободное место.

На рис. 1, б видно, что уплотнительный элемент деформируется под давлением. Уплотнительные элементы производят из таких материалов, которые могут изменить свою форму при применении силы (рис. 1, б) и могут принять первоначальную форму, когда эта сила исчезает (рис. 1, а). В связи с этим уплотнительные элементы производят из эластомеров, термопластов или термопластичных эластомеров.

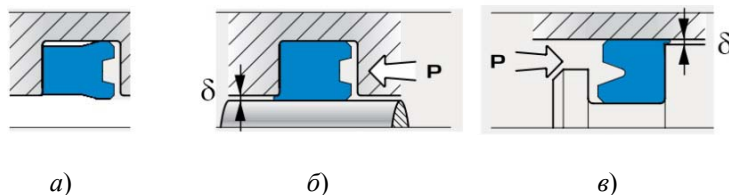


Рис. 1. Уплотнительный элемент:
а – в свободном состоянии; б, в – под давлением

Для правильного проектирования уплотнительных устройств важно знать влияние отдельных факторов на герметичность соединения. Однако явления, связанные с утечкой жидкости через контактные уплотнения, очень сложны и теоретически мало изучены.

В гидроцилиндрах подвижное соединение «букса–шток» уплотняется целым комплектом уплотнений, каждое из которых выполняет определенные функции. На рис. 2 приведена рекомендованная фирмой Kastas конструкция уплотнительного узла для среднего режима работы [4]. Данный режим работы соответствует условиям эксплуатации гидроцилиндров в сельскохозяйственных, дорожно-строительных и других машинах.

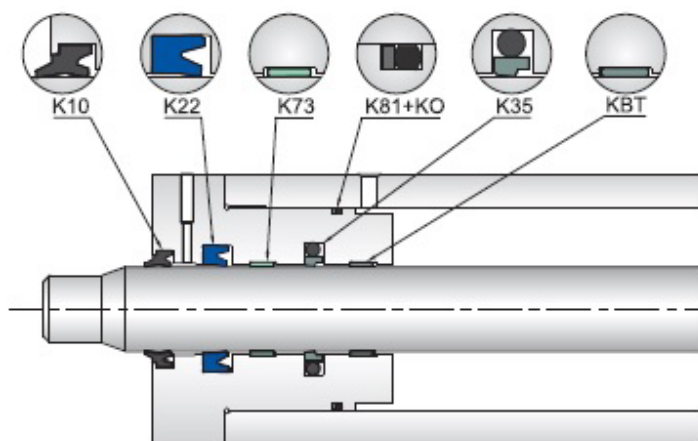


Рис. 2. Пример конструкции уплотнительного узла гидроцилиндра для среднего режима работы

Как видно из приведенного рисунка, непосредственно предотвращение утечки рабочей жидкости из внутренней полости цилиндра достигается двумя уплотнениями: составным уплотнением штока (рис. 3, а) и манжетой (рис. 3, б).

Составное уплотнение штока (рис. 3, а) состоит из двух частей: резинового кольца в качестве усилительного элемента и профильного кольца из политетрафторэтилена (PTFE), наполненного бронзой для улучшения физико-механических свойств. У материала PTFE самый низкий коэффициент трения из всех материалов, использующихся в производстве уплотнений. PTFE может быть использован при температуре от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$. У него очень хорошая устойчивость к химическим веществам, за исключением щелочных металлов, хлортрифтора и других фторпроизводных. Твердость и эластичность делают материал пригодным для широкого использования в гидравлических системах [5].

Манжета (рис. 3, б) изготавливается из полиуретана (PU), который широко используется в уплотнительных элементах благодаря улучшенному за последние 15 лет свойству – усадке при сжатии. Он имеет отличную стойкость к излому, разрыву и износу при температуре от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Он хорошо устойчив к воздействию минеральных масел, жиров и алифатических углеводородов. Полиуретан не устойчив к полярным растворителям, ароматическим соединениям, тормозным жидкостям, кислотам и щелочам. Главным образом он используется для очистки штока и в качестве уплотнительного элемента для высокой герметизации [5].



Рис. 3. Уплотнение штока (а); манжета (б)

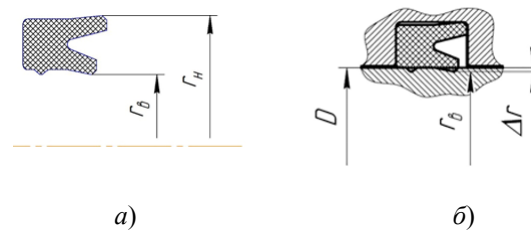


Рис. 4. Расчетные схемы манжеты: а – наружный и внутренний радиусы; б – определение величины предварительного поджатия

Данные уплотнения дополняют друг друга. Манжета из полиуретана обеспечивает практически полную герметичность соединения, предотвращает утечку от возможного повреждения составного уплотнения при монтаже, защищает составное уплотнение от возможных загрязнений со стороны грязесъемника благодаря наличию дополнительной уплотняющей кромки. Составное уплотнение штока из политетрафторэтилена, в свою очередь, частично герметизирует соединение, уменьшает или предотвращает воздействие на манжету нежелательных примесей в рабочей жидкости, таких, как продукты окисления масла, щелочи или топливо, а также уменьшает воздействие высоких температур рабочей жидкости. Этим оправдывается совместное использование данных уплотнений.

Величина утечки жидкости через уплотняемое соединение при работе механизма является одной из важнейших характеристик уплотнения.

При отсутствии движения, в состоянии покоя штоков, при положительных и отрицательных температурах все мягкие контактные уплотнения, как правило, обеспечивают надежное запираение жидкости.

Во время движения все уплотнительные устройства допускают ту или иную утечку, которая напрямую зависит от материала уплотнения.

Так как предотвращение внешней утечки рабочей жидкости обеспечивается главным образом за счет использования манжеты, то именно для нее рассчитаем количество масла, которое все же выносится при возвратно-поступательном движении штока.

На основании опытных данных величина утечки жидкости при движении штока определяется по формуле ([2], с. 44):

$$Q_y = \pi D v q,$$

где D – уплотняемый диаметр (диаметр штока); v – скорость движения штока; q – функция, выражающая величину утечки жидкости через соединение, приходящуюся на единицу поверхности штока, проходящей мимо уплотнения в единицу времени.

Величина q определяется по формуле ([2], с. 46):

$$q = \frac{1,1 \cdot 10^{-11} (1,5 - 2^{-0,01 \cdot p})}{\mu \cdot l \left(\frac{p_r}{p_c} \right)^3 (1 - 2^{-(20 \cdot p_0 + 1)})} C_3 = 1,3031 \cdot 10^{-9},$$

где p – давление запираемой жидкости; μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, $\mu \approx 40,94$ Па · с; l – длина уплотнительного элемента; p_r/p_c – отношение давлений на запираемой поверхности; p_0 – предварительное удельное давление в уп-

лотнения; C_3 – коэффициент, учитывающий изменения вязкости жидкости и других параметров в условиях низких температур, $C_3 = 20$ ([2], с. 46).

Отношение давлений на запираемой поверхности определяется по формуле ([2], с. 41):

$$\frac{p_r}{p_c} = \frac{3,44 \cdot r_n^2 + r_b^2}{3,22 \cdot r_n^2 + 1,22 \cdot r_b^2} = \frac{3,44 \cdot 0,024^2 + 0,01725^2}{3,22 \cdot 0,024^2 + 1,22 \cdot 0,01725^2} = 1,0276,$$

где r_n – наружный радиус манжеты (рис. 6); $r_n = 24$ мм [4]; r_b – внутренний радиус манжеты, $r_b = 17,25$ мм [4] (рис. 6, а).

Предварительное удельное давление в уплотнении найдем по формуле ([2], с. 41):

$$p_0 = \frac{1,5 \cdot E \cdot \varepsilon_t (r_n^2 - r_b^2)}{r_n^2 + 2 \cdot r_b^2} = 5,6854 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

где E – модуль упругости полиуретана, $E = 10$ МПа [5]; $\varepsilon_t = \Delta r_b / r_b = 0,1594$ – коэффициент величины предварительного поджатия манжеты (рис. 6, б); $\Delta r_b = D/2 - r_b = 2,75$ мм – изменение внутреннего радиуса манжеты вследствие натяга; $D = 40$ мм – диаметр поршня проектируемого цилиндра.

Расчетная величина утечки при заданной скорости движения штока 0,2 м/с составляет $Q_y = 3,2752 \cdot 10^{-11}$ м³/с, или $Q_{y, \text{ТЕОР}} = 1,303 \cdot 10^{-3}$ см³/м².

Данное значение полностью удовлетворяет требованиям, указанным в методике проведения приемо-сдаточных испытаний (0,3 см³/м²).

Экспериментально определенная утечка, приходящаяся на 1 м² поверхности штока, проходящая через уплотнение, составляет $Q_{y, \text{ЭКСП}} = 1,461 \cdot 10^{-3}$ см³/м².

Таким образом определенное экспериментальным путем значение утечки сопоставимо со значением утечки, рассчитанным теоретически, и соответствует требованиям, следовательно, имеющуюся методику расчета целесообразно применять при использовании уплотнений из современных материалов.

Литература

1. Уплотнения и уплотнительная техника : справочник / Л. А. Кондаков [и др.] ; под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.
2. Макаров, Г. В. Уплотнительные устройства / Г. В. Макаров. – Л. : Машиностроение, 1973. – 232 с.
3. Буренин, В. В. Уплотнения из резины и других материалов для соединений с возвратно-поступательным движением машин и механизмов / В. В. Буренин. – ЦНИИТЭНефтехим, 1993. – 80 с.
4. Гидравлические и пневматические уплотнения Kastas. Технический каталог. – Режим доступа: http://www.kastas.com.tr/images2/img/1980/File/Kastas_TechnicalCatalogue_RU.pdf.
5. Обзор материалов Kastas. – Режим доступа: http://www.kastas.com.tr/images2/img/1980/File/TPU%20Overview_2015_07.pdf.

УЧЕТ ЭФФЕКТА УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА В УГЛАХ БАЛОК ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

А. В. Омелюсик

Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Шмелев

При испытаниях кузовов пассажирских транспортных средств на соответствие требованиям пассивной безопасности происходит динамическое нагружение верхней части конструкции с последующей деформацией боковых стоек и крыши. Как известно, для получения достоверных расчетов машиностроительных конструкций при динамическом нагружении необходимо проводить промежуточные верификационные расчеты их отдельных элементов [1], [2]. Такими элементами могут служить балки каркасов, сварные, клеевые, болтовые соединения и др. Как правило, для расчета выбирают наиболее нагруженные элементы. Следовательно, для разработки расчетно-экспериментальной методики оценки пассивной безопасности автобусов актуальным является проведение испытаний балок каркаса с последующими верификационными расчетами.

Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния балок проводилось путем трехточечного изгиба. В качестве образцов выступали 6 профилей $60 \times 40 \times 3$ и 6 профилей $50 \times 40 \times 3$, изготовленных из материала Сталь 20. Нагружение трех профилей из каждой группы проводилось вдоль широкой стороны поперечного сечения, остальных – вдоль узкой. Нагружение проводилось с помощью силового гидроцилиндра РЛ63М с заданным максимальным перемещением штока 100 мм с точностью измерения не менее 0,1 мм. В качестве регистрируемого параметра выступало усилие на штоке гидроцилиндра. Точность измерения усилия не менее 0,1 кН. На рис. 1 показана установка для испытаний.



Рис. 1. Установка для проведения испытаний балок на трехточечный изгиб

Компьютерное моделирование процесса деформирования балок осуществлялось в программном комплексе конечно-элементного анализа LS-DYNA. Параметры модели материала балки соответствуют идентифицированным параметрам полилинейной модели материала, полученным по результатам испытаний образцов Стали 20, изготовленных из балок каркаса. С целью упрощения процедуры расчетов опоры и движущийся палец (наконечник штока силового гидроцилиндра) моделировались как абсолютно жесткие тела, а во избежание нежелательного скольжения балки вдоль опор был задан коэффициент трения скольжения между трущимися поверхностями в размере 0,1. На рис. 2 представлена расчетная модель балки $60 \times 40 \times 3$ с элементами установки перед нагружением вдоль узкой стороны поперечного сечения.

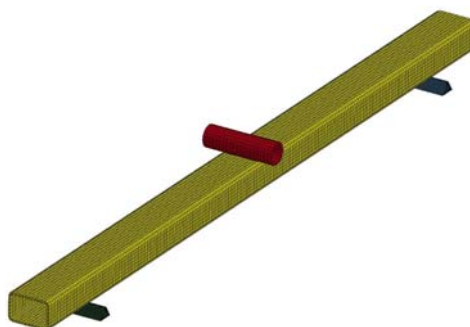


Рис. 2. Расчетная модель балки $60 \times 40 \times 3$ с элементами установки

По результатам экспериментальных и расчетных исследований получены зависимости усилий на штоке гидроцилиндра от его перемещения в процессе деформирования балок. Расчетные значения усилий оказались значительно меньше экспериментальных. Это говорит о том, что при обработке полученных данных следует учитывать технологию изготовления труб. При проведении холодной прокатки в углах труб возникает эффект упрочнения материала [3], так называемый наклеп. Эффект упрочнения происходит непосредственно в углах с охватом области плоских участков в размере двойной толщины стенки трубы [4]. На рис. 3 представлена схема распределения значений предела текучести по контуру сечения, где f_{yc} – предел текучести в углах; f_{yf} – предел текучести плоских участков.

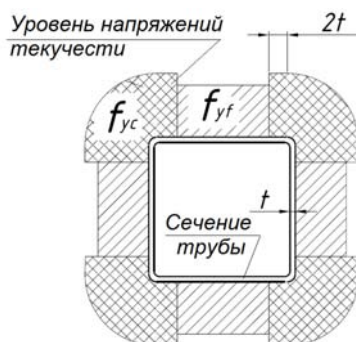


Рис. 3. Распределения значений предела текучести по контуру сечения [5]

В программных комплексах конечно-элементного анализа балки моделируются с одинаковыми механическими свойствами материала по всему сечению и длине.

Назначить другие свойства материала только в углах балки является проблематичным и трудоемким процессом, а значит существенно усложняет процесс исследования сложных конструкций. Поэтому возникает необходимость разработки эффективного способа учета данного эффекта при моделировании. Для учета эффекта упрочнения материала в углах балок авторами предлагается использовать условный предел текучести для всей балки, определяемый по следующей формуле:

$$\sigma_{T-i} = i_{уг-i} \cdot \sigma_{уг} + i_{пл-i} \cdot \sigma_{пл}, \quad (1)$$

где σ_{T-i} – условный предел текучести балки, используемый при моделировании изгиба относительно оси сечения i (x или y); $i_{уг-i}$ – доля момента инерции углов в общем моменте инерции поперечного сечения относительно оси i ; $\sigma_{уг}$ – предел текучести в углах; $i_{пл-i}$ – доля момента инерции плоских участков в общем моменте инерции поперечного сечения относительно оси i ; $\sigma_{пл}$ – предел текучести плоских участков, принимается по результатам испытаний образцов материалов.

Для определения предела текучести в углах труб $\sigma_{уг}$ используем уравнения, регламентированные государственным стандартом Австралии и Новой Зеландии (AS/NZS 4673) [6]:

$$f_{yc} = \frac{B_c f_{yf}}{(r_i / t)^m}; \quad B_c = 1,486 \left(\frac{f_{uf}}{f_{yf}} \right) - 0,21 \left(\frac{f_{uf}}{f_{yf}} \right)^2 - 0,128; \quad m = 0,123 \left(\frac{f_{uf}}{f_{yf}} \right) - 0,068,$$

где f_{yc} – предел текучести в углах труб; f_{yf} – предел текучести плоских участков; f_{uf} – предел прочности плоских участков; r_i – внутренний радиус угла; t – толщина стенки; B_c и m – эмпирические коэффициенты.

Определив по формуле (1) значения σ_{T-i} , путем пропорционального изменения параметров напряжений разработана условная модель материала Сталь 20. Параметры деформаций остаются неизменными. По разработанной условной модели проведен повторный расчет процесса деформирования балок. Результаты расчета показали, что погрешность по максимальному усилию при нагружении вдоль узкой стороны поперечного сечения и вдоль широкой стороны для балок $50 \times 40 \times 3$ и $60 \times 40 \times 3$ составила 11,7, 8,5 и 1,1 %, 3,5 %, соответственно, по сравнению с 27,9, 28,6 и 17,0, 24,0 % при расчете без учета эффекта упрочнения. Таким образом, повышение точности моделирования за счет учета эффекта упрочнения материала в углах труб подтверждает правомерность его использования при расчете сложных каркасных конструкций.

Литература

1. Vincze-Pap, S. Applied virtual (VT) technology on bus superstructure roll-over tests / S. Vincze-Pap, A. Csiszár // Design, Fabrication and Economy of Metal Structures : International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, April 24–26, 2013. – Pp. 551–560.
2. Guler, M. A. The influence of seat structure and passenger weight on the rollover crashworthiness of an intercity coach / M. A. Guler, K. Elitok, B. Bayram, U. Stelzmann // International Journal of Crashworthiness. – 2007. – Vol. 12, Issue 6. – Pp. 567–580.
3. Глушечков, В. А. Упрочнение металлов в обработке металлов давлением : электрон. учеб. пособие / В. А. Глушечков. – Самара, 2010. – 33 с.
4. Ashraf, M. Strength enhancement of the corner regions of stainless steel cross-sections / M. Ashraf, L. Gardner, D. A. Nethercot // Journal of Constructional Steel Research. – 2005. – Vol. 61, Issue 1. – Pp. 37–52.
5. Рогов, П. С. Разработка методики обеспечения пассивной безопасности кузовов автобусов в условиях опрокидывания при проектировании : дис. ... канд. тех. наук : 05.05.03 / Рогов Петр Сергеевич. – Н. Новгород, 2015. – 189 с.
6. Australian/New Zealand Standard of the Australia/New Zealand «Cold-formed stainless steel structures» of 2001 Volume AS/NZS 4673:2001.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЧПУ ДЛЯ НАПИСАНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

А. Е. Лисун

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. А. Старовойтов

Существует ряд проблем, которые возникают при написании управляющих программ для станков с ЧПУ на персональных компьютерах (ПК), а именно: неконгруэнтность (несовместимость) G и M функций и замкнутых контуров; неправильное движение по обрабатываемому контуру из-за грубых ошибок, что приводит к поломке инструмента и повреждению механизмов дорогостоящего станка; невозможность определить при прогоне программы на станке, с чем связана ошибка (с неисправностью станка с ЧПУ или с ошибками программы); неправильная структура управляющих программ (УП) и неправильный формат кадра.

Для решения этих проблем все ведущие фирмы-производители систем ЧПУ создают образы реальных систем, так называемые виртуальные ЧПУ, которые монтируются на ПК и позволяют составлять УП, осуществлять их прогон в 2D- и 3D-среде с целью выявления ошибок и последующей коррекции УП. При внимательной проверке выявляется от 90 до 100 % ошибок.

Виртуальные системы ЧПУ часто называют эмуляторами. Они могут работать в операционной системе (ОС) Windows с помощью специальной программы VMware Workstation для создания, редактирования и запуска виртуальных машин. Как правило, процесс создания УП и их отработка на станке требует тщательной их проверки на станке с целью выявления ошибок и их устранения. Это большие материальные затраты, которые выражены в неэффективной покадровой работе станка из-за довольно длительной процедуры отработки УП.

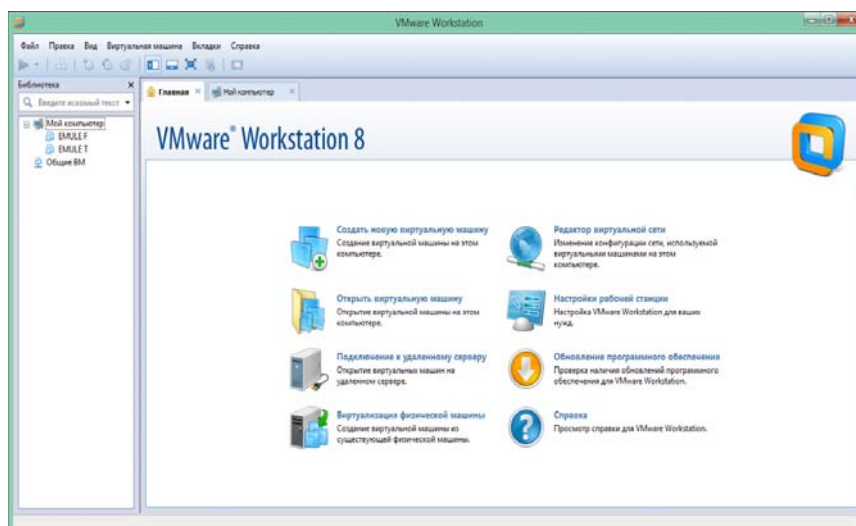


Рис. 1. Главное окно программы VMware Workstation

Для использования виртуальной системы ЧПУ серии NC200 созданы образы «Emule-T» и «Emule-F» производителем в Российской Федерации ООО «Балт-

Систем» в Санкт-Петербурге, и программа VMware Workstation, с помощью которой можно запустить данные образы на персональных компьютерах (ПК) с ОС Windows 7.

Образы «Emule» являются программами, которые позволяют практически для любого станка с системой ЧПУ NC200 с числом координат до 16-ти создать виртуальную систему-эмулятор.

Для того чтобы запустить данные образы, необходимо последовательно выполнить следующие действия (рис. 2):

- 1) в главном меню с помощью команды «Файл/Открыть» находим на внешнем носителе файл образа;
- 2) выбираем в графе «Библиотека» нужный образ системы;
- 3) переходим на вкладку появившегося образа «Emule-F» (фрезерный вариант);
- 4) нажимаем «Включить виртуальную машину».

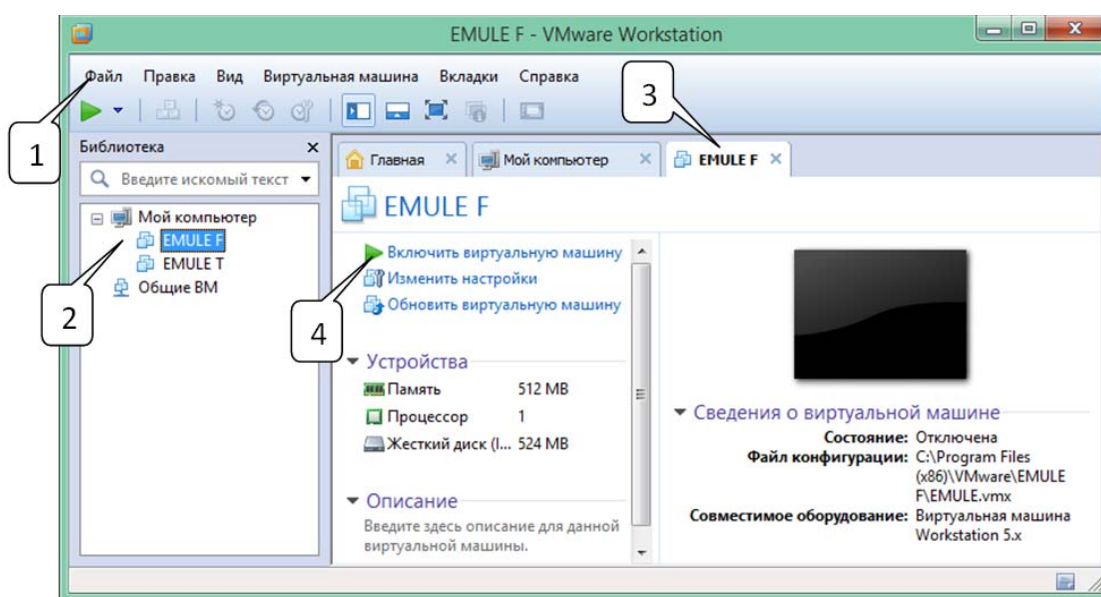


Рис. 2. Окно запуска виртуальной машины в VMware

В появившемся новом окне (рис. 3) выбираем цифру 2 для запуска нужной системы ЧПУ (в данном случае запускаем NC200), затем в появившемся новом перечне цифру 6 с помощью клавиш ПК для автоматического выбора разрядности цвета системы.

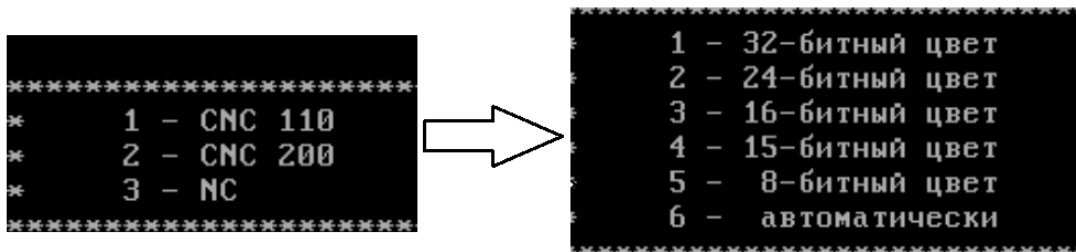


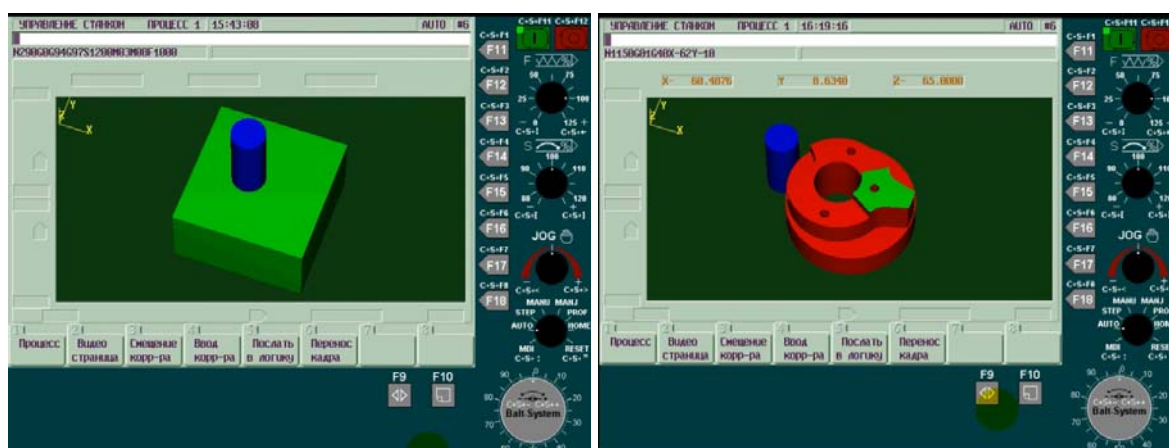
Рис. 3. Окно выбора системы ЧПУ и ее разрядности цвета

Для написания управляющих программ используется CNC редактор. В редакторе можно выполнять следующие операции: объявлять название новых программ и

удалять программы; производить написание новых программ с последующим их редактированием; редактировать старые программы; производить их запись на внешние и с внешних носителей, в том числе и через сеть Интернет; создавать виртуальные диски (облако); производить прогон программы в пошаговом и автоматическом режимах, 2D- и 3D-формате и их отладку. Более подробное описание работы CNC редактора системы ЧПУ NC200 содержится в руководстве по ее эксплуатации в свободном доступе на официальном сайте фирмы-производителя «ООО Балт-Систем» (www.bsystem.ru).

Далее описаны преимущества прогона УП в виртуальной системе ЧПУ NC200 в 3D- и 2D-форматах на примере программы по обработке детали «Шестерня» сложного фасонного профиля.

На рис. 4 представлены изображения начало и результат прогона программы по обработке детали «Шестерня» в 3D-формате. Прогон программы в 3D-формате позволяет выявить: неконгруэнтность (несовместимость) G и M функций и замкнутых контуров; неправильный синтаксис формата программы и кадра; неправильное движение по обрабатываемому контуру из-за грубых ошибок, что приводит к поломке инструмента и повреждению механизмов станка; неправильную структуру управляющей программы и неправильный формат кадра.



а)

б)

Рис. 4. Прогон УП по обработке детали «Шестерня» сложного фасонного профиля в виртуальной системе ЧПУ в 3D-формате: а – начало; б – результат

На рис. 5 представлен результат прогона программы по обработке детали «Шестерня» в 2D-формате. Прогон программы в 2D-формате позволяет: проследить траекторию движения программируемой точки инструмента в пошаговом режиме на траектории обрабатываемого контура; по отслеживаемым координатам откорректировать траекторию движения инструмента на холостых и рабочих ходах; отследить правильность ввода корректоров на диаметр и длину инструмента; избежать грубых ошибок при выборе направления движения инструмента по контуру.



Рис. 5. Прогон УП по обработке детали «Шестерня» сложного фасонного профиля в виртуальной системе ЧПУ в 2D-формате

ВЛИЯНИЕ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ НА ДВИЖЕНИЕ ПОРШНЯ РАБОЧЕГО ГИДРОЦИЛИНДРА МЕХАНИЗМА ПОДЪЯТИЯ СЕКЦИИ КОСИЛКИ

Д. А. Мамсик

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. Б. Попов

Характеристики гидропривода, изображенного на рис. 1, определяются параметрами гидронасоса (ГН), рабочей жидкости, гидроцилиндра (ГЦ), видом нагрузки, а также параметрами четырехщелевого дросселирующего гидрораспределителя (ГР). Обычно при формировании функциональной математической модели (ФММ) нагруженного гидропривода предполагается, что структурные элементы гидропривода работают безынерционно, что позволяет на ранней стадии проектирования избежать усложнения его ФММ. Более детальное исследование работы нагруженного гидропривода требует учета характеристики гидрораспределителя. Целью настоящей работы является формализованное описание переходного процесса при помощи аппарата передаточных функций, эквивалентного описанию при помощи ДУ.

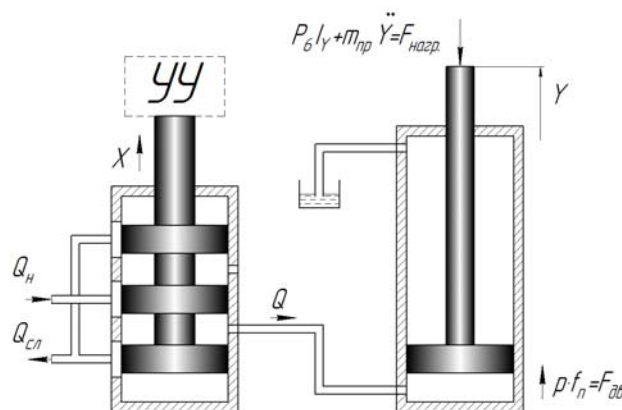


Рис. 1. Схема гидропривода дроссельного регулирования с действующими нагрузками (УУ – устройство управления)

Формализованное описание работы гидропривода складывания секций косилки-плющилки КРН-6-Ф [1] формируется на основе динамической схемы, полученной из его структурной схемы (рис. 1) в виде системы дифференциальных уравнений [2].

Рабочая жидкость (РЖ) из-за наличия в ней пузырьков нерастворенного воздуха считается сжимаемой. Температура, плотность, вязкость рабочей жидкости и количество нерастворенного в ней воздуха принимаются постоянными. Приведенный модуль объемной упругости рабочей жидкости $E_{пр}$ считаем постоянным. Объемный расход рабочей жидкости Q , поступающий в магистраль, затрачивается на перемещение поршня ГЦ $Q_{пер}$ и деформацию рабочей жидкости [3]. Размеры магистрали считаем незначительными, поэтому пренебрегаем деформацией самой гидромагистрали и не учитываем местные сопротивления:

$$Q = Q_{пер} + Q_{сж}, \text{ или } Q = f_n \frac{dY}{dt} + \frac{V_0}{E} \frac{dp}{dt}; \quad Q = q \cdot n \cdot \eta_0, \quad (1)$$

где f_n – площадь поршня ГЦ; V_0 – объем жидкости, сосредоточенный у гидроцилиндра; E – модуль объемной упругости рабочей жидкости; q , n , η_0 – соответственно, объемная подача за оборот вала гидронасоса, а также его частота вращения и объемный КПД.

Известно, что скорость изменения давления в поршневой полости пропорциональна скорости поршня ГЦ [4], поэтому:

$$Q = f_n \frac{dY}{dt} + \frac{V_0 k_p}{E} \frac{dY}{dt} = \frac{dY}{dt} \left(f_n + \frac{V_0 k_p}{E} \right), \quad (2)$$

где k_p – коэффициент пропорциональности изменения давления.

Приведенное уравнение расхода (1) не учитывает дросселирование РЖ гидрораспределителем. Для получения линеаризованной модели гидропривода с дроссельным регулированием, учитывающего инерционную нагрузку и деформацию РЖ, составим систему дифференциальных уравнений (ДУ).

Уравнение перепадов давлений будет иметь вид:

$$k_{px}x - k_{pQ}Q = \frac{m_{пр}}{f_n} \frac{d^2Y}{dt^2} + \frac{1,2 \cdot P_6 \cdot I_Y}{f_n}, \quad (3)$$

где k_{px} – коэффициент крутизны перепадной характеристики гидрораспределителя; $k_{pQ} = 1/k_{Qp}$ – коэффициент крутизны расходно-перепадной характеристики; x – перемещение золотника; $m_{пр}$ – приведенная к штоку ГЦ масса; P_6 – приведенный вес; I_Y – передаточное отношение механизма подъема секции; Y – координата положения штока ГЦ, коэффициент 1,2 при P_6 учитывает потери на трение в механизме.

При малых значениях Y (протекание кратковременного переходного процесса) передаточное отношение I_Y изменяется пропорционально Y :

$$I_Y = k \cdot Y. \quad (4)$$

Так как конечным результатом решения полученной системы уравнений является нахождение динамической связи между положением приведенной массы нагрузки $Y(t)$ и перемещением золотника x , то необходимо совместное решение уравнений (2)–(4).

Конечное уравнение будет иметь следующий вид:

$$k_{px}x = \frac{m_{np}}{f_n} \frac{d^2Y}{dt^2} + k_{pQ} \left(f_n + \frac{V_0 k_p}{E} \right) \frac{dY}{dt} + \frac{1,2 \cdot P_6 \cdot k}{f_n} Y. \quad (5)$$

После приведения к операторной форме и соответствующих преобразований получим передаточную функцию гидропривода, нагруженного массой:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k_1}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}. \quad (6)$$

После перехода от координаты положения штока к его скорости ПФ примет вид:

$$v(s) = \frac{k_1}{s(T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1)}, \quad (7)$$

где $s = j\omega$; $j = \sqrt{-1}$;

$$k_1 = \frac{k_{px} f_n}{1,2 P_6 k}; \quad T = \sqrt{\frac{m_{np}}{1,2 P_6 k}}; \quad \xi = \frac{k_{pQ} f_n (f_n + V_0 k_p / E)}{2 \sqrt{1,2 P_6 k \cdot m_{np}}}. \quad (8)$$

На основании определения оригинала выходного сигнала аналитическое выражение, определяющее изменение скорости нагруженного штока гидроцилиндра, имеет вид [5]:

$$v(t) = k_1 [1 + C e^{-\gamma t} \sin(\lambda t + \Theta)], \quad (9)$$

где $\gamma = \frac{\xi}{T}$; $\lambda = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$; $C = -\frac{1}{\lambda T}$; $\Theta = \arctan(\lambda / \gamma)$.

Полученное графическое представление протекания переходного процесса показано на рис. 2, б.

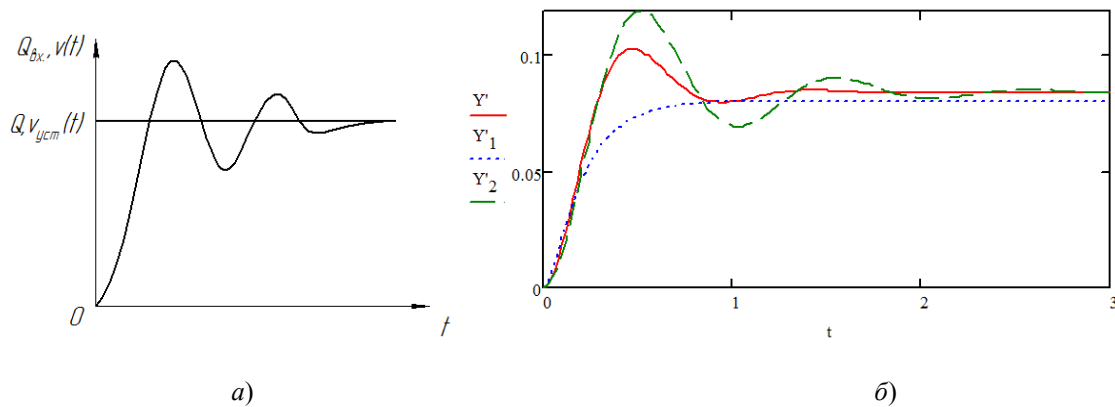


Рис. 2. График зависимостей расхода на входе в ГР и скорости движения штока ГЦ при дросселировании РЖ (а) и полученные путем расчетов графики скорости штока при различных параметрах гидрораспределителя (б)

Использование аппарата передаточных функций позволило учесть особенности работы четырехщелевого гидрораспределителя и оценить его влияние на закон движения поршня гидроцилиндра механизма поднятия секции косилки.

Литература

1. Косилка-плющилка ротационная двухсекционная навесная КРН-6-Ф «ПАЛЕССЕ CH50F»: рук. по эксплуатации. – 2012. – 96 с.
2. Попов, В. Б. Математическое моделирование гидропривода подъемно-навесного устройства мобильного агрегата / В. Б. Попов, В. А. Довгяло // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2003. – Ч. II. – С. 103–106.
3. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин: Теория систем автоматического управления: учеб. пособие / В. П. Автушко [и др.]. – Минск: НП ООО «Пион», 2001. – 396 с.
4. Коробочкин, Б. Л. Динамика гидравлических систем станков / Б. Л. Коробочкин. – М., 1976.
5. Макаров, И. М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) / И. М. Макаров, Б. М. Менский. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ МЕХАНИЗМОВ ПОВОРОТА КОЛЕС УПРАВЛЯЕМОГО МОСТА САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

А. Н. Кондрашова, А. А. Калиновский

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. Б. Попов

Введение. На самоходных сельскохозяйственных машинах (ССМ) в связи с их значительной массой и существенными габаритами применяется в качестве механизма поворота колес управляемого моста следящий гидропривод, в качестве силового исполнительного механизма используется гидроцилиндр. В зависимости от типа ССМ, расположения управляемого моста и нагрузки на управляемый мост применяются различные схемы механизма поворота колес. Каждая схема имеет свои особенности, которые должны быть учтены при проектировании машины. В специальной технической литературе [1]–[5] встречается описание различных типов механизмов поворота колес тракторов и автомобилей, однако мало внимания уделено механизмам поворота колес ССМ и сравнительному анализу их особенностей. Таким образом, целью данной работы является формулирование основных отличительных особенностей различных схем механизмов поворота колес управляемого моста ССМ, которые необходимо учитывать на этапе проектирования.

Основная часть. На рис. 1 показаны четыре возможных варианта одноцилиндровой схемы механизма поворота колес ССМ. Здесь в качестве синхронизирующего элемента правого и левого колеса используется рулевая тяга, в качестве силового элемента – один гидроцилиндр, расположенный по одному из бортов.

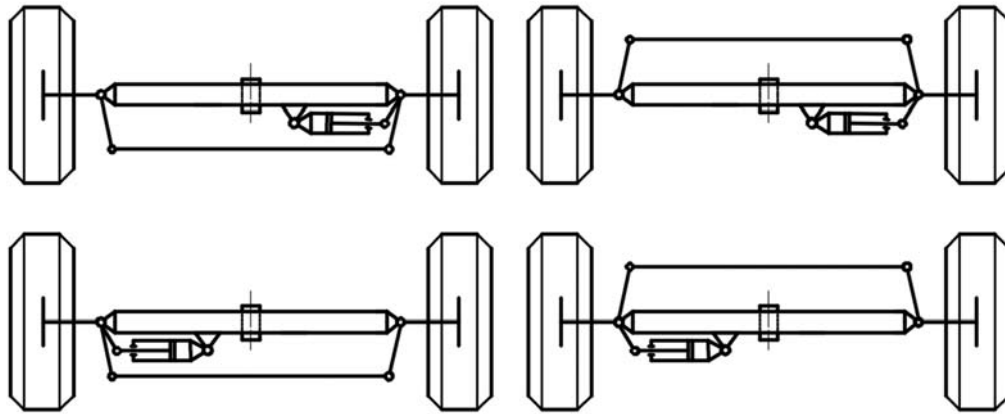


Рис. 1. Одноцилиндровые схемы поворота колес управляемого моста самоходной сельскохозяйственной машины

Как видно из рисунка, эти схемы отличаются расположением гидроцилиндров, рулевой тяги и их взаимным расположением. Выбор расположения тяги осуществляется в зависимости от расположения управляемого моста по отношению к ведущему (впереди или сзади) для согласования поворота колес с целью минимизации углов увода. Выбор расположения гидроцилиндра осуществляется из условий общей компоновки машины. Все четыре схемы, показанные на рисунке, функционально аналогичны друг другу и обладают сходными качествами.

Показанная на рис. 1 одноцилиндровая схема является наиболее простой и лаконичной. Однако она обладает определенными недостатками. В связи с тем, что гидроцилиндр установлен на одном борту, у этой схемы имеется высокая нестабильность характеристики изменения потребного давления для поворота колес во всем диапазоне и большая разница в нагруженности элементов бортов. Кроме того, характеристика изменения потребного давления имеет разную величину при повороте колес в разные стороны, так как гидроцилиндр работает то поршневой, то штоковой полостями, развивающими при одинаковом давлении разные силы. Это требует высокого резервирования возможностей гидросистемы.

На рис. 2 показаны два варианта двухцилиндровой схемы, которые отличаются между собой взаимным расположением гидроцилиндров с рулевой тягой.

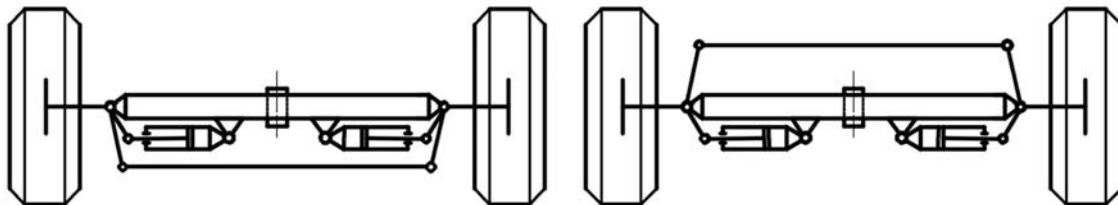


Рис. 2. Двухцилиндровые схемы поворота колес управляемого моста самоходной сельскохозяйственной машины.

Двухцилиндровая схема обладает гораздо большей стабильностью характеристики изменения потребного давления для поворота колес во всем диапазоне и не отличается при повороте колес в разные стороны, так как постоянно работают два гидроцилиндра: один – поршневой, а другой – штоковой полостью. Однако у этого

типа схемы тоже есть особенность, которую необходимо учитывать при проектировании. В реальном механизме никогда не могут замкнуться одновременно два гидроцилиндра. Незамкнувшийся гидроцилиндр будет в крайнем положении развивать усилие и передавать его через рычажный механизм на замкнувшийся гидроцилиндр. При этом в крайнем положении оба гидроцилиндра имеют между собой разное передаточное отношение. Так как усилие, развиваемое разными полостями, отличается незначительно (20–40 %), а передаточное может отличаться в разы, то один незамкнувшийся гидроцилиндр может передать усилие на другой борт с многократным усилением, а второй – с многократным уменьшением. Поэтому при проектировании механизма с такой схемой обязательно требуется правильно выбрать гидроцилиндр, который должен замыкаться в крайнем положении, а при этом второй незамкнутый должен передавать силу на другой борт с уменьшением. Это позволит исключить перегрузку конструкции за счет действия паразитных нагрузок.

На рис. 3 показана схема механизма с использованием двуштокового гидроцилиндра без рулевой тяги. В этой схеме отсутствуют недостатки, присущие первым двум схемам. Однако в этой схеме шарнирные тяги гидроцилиндра действуют на корпус гидроцилиндра под определенным углом и создают боковую составляющую. Поэтому в данной схеме к конструкции гидроцилиндра, а именно – к конструкции и несущей способности герметизирующих уплотнений должны предъявляться достаточно высокие требования.

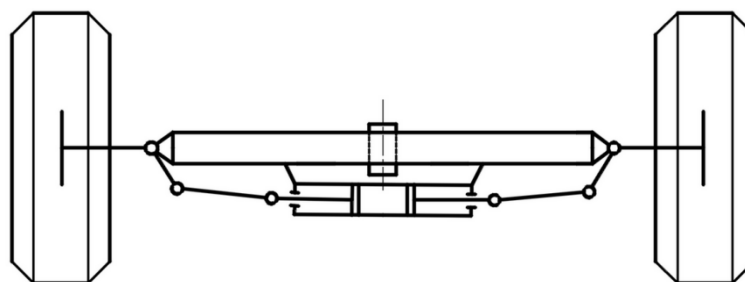


Рис. 3. Схема с двуштоковым гидроцилиндром поворота колес управляемого моста самоходной сельскохозяйственной машины.

Заключение. Наиболее благоприятной по совокупности параметров является схема с применением двуштокового гидроцилиндра. Она обладает высокой стабильностью характеристики изменения потребного давления для поворота колес во всем диапазоне и исключает действие на систему паразитных нагрузок. Однако в этой схеме за счет наличия боковых составляющих сил от шарнирных тяг, действующих на гидроцилиндр, предъявляются повышенные требования к конструкции гидроцилиндра.

Наибольшей простотой и лаконичностью из рассмотренных обладает одноцилиндровая схема. Она также исключает наличие паразитных нагрузок. Однако в силу высокой нестабильности характеристики изменения потребного давления для поворота колес во всем диапазоне и за счет несимметрии этой характеристики при повороте колес в разные стороны имеется высокая перегрузка элементов одного борта и требуется высокое резервирование возможностей гидросистемы.

Двухцилиндровая схема обладает высокой стабильностью характеристики изменения потребного давления для поворота колес во всем диапазоне и полной симметрией этой характеристики при повороте колес в разные стороны. Однако за счет того, что в крайнем положении в реальном механизме только один гидроцилиндр

будет замкнут, в системе будут присутствовать паразитные нагрузки. Поэтому при проектировании механизма по этой схеме необходимо обеспечить в крайнем положении замыкание того гидроцилиндра, который будучи незамкнутым в этом положении передавал бы усилие на другой борт с многократным усилением.

Таким образом, при проектировании механизма поворота колес управляемого моста ССМ необходимо учитывать отличительные особенности каждой схемы, в полной мере используя ее достоинства и минимизируя влияние недостатков.

Литература

1. Гуськов, В. В. Тракторы, теория / В. В. Гуськов. – М. : Машиностроение, 1988. – 210 с.
2. Наумов, Е. С. Рулевое управление колесных тракторов : учеб. пособие / Е. С. Наумов, В. М. Шарипов, И. М. Эглит. – М., 1999.
3. Гришкевич, А. И. Автомобили. Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть / А. И. Гришкевич. – Минск : Выш. шк., 1987. – 200 с.
4. Раймпель, Й. Шасси автомобиля / Й. Раймпель. – М. : Машиностроение, 1983. – 356 с.
5. Раймпель, Й. Шасси автомобиля: рулевое управление / Й. Раймпель. – М. : Машиностроение, 1987. – 232 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА САМОХОДНОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Д. Н. Иванов, Д. В. Джасов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. Б. Попов

В сельскохозяйственном комбайностроении важное место занимает процесс выгрузки зерна из бункера зерноуборочного комбайна. Не всегда возможен процесс выгрузки зерна из бункера во время движения. В этом случае для выгрузки зерна необходимо остановить комбайн и произвести выгрузку. Это приводит к увеличению общего времени на уборку урожая.

Например, для зерноуборочного комбайна с максимальной производительностью 12 кг/с при выполнении технологического процесса уборки зерновых урожайностью 50 ц/Га ему потребуется около 15 мин для заполнения бункера. При этом технологический процесс выгрузки зерна из бункера в прицеп транспортного средства занимает около 2–3 мин, что составляет 13–20 % от времени на выполнение технологического процесса скашивания и обмолота хлебов.

Исходя из вышеуказанного, решение задачи уменьшения время выгрузки зерна из бункера приведет к увеличению производительности выгрузной системы, что, в свою очередь, уменьшит время технологического процесса скашивания и обмолота хлебов. С другой стороны, увеличение производительности выгрузной системы может привести к увеличению повреждаемости зерна и увеличению затрачиваемой мощности на привод шнеков системы выгрузки.

Таким образом, при оптимизации технологического процесса выгрузки зерна из бункера необходимо: с одной стороны – повысить производительность, с другой стороны – снизить энергоемкость системы выгрузки и минимизировать дробление зерна.

На процесс выгрузки зерна из бункера в выгрузной системе зерноуборочного комбайна влияет ряд геометрических и кинематических параметров элементов системы, таких, как диаметр витков шнека, шаг витков шнека, рабочий зазор между витками шнека и корпусом, частота вращения шнека, геометрическая форма переход-

ной области между шнеками, а также ряд параметров, учитывающих поведение зерновой массы в проточных и переходных областях. К ним относятся объемная плотность зерна, коэффициент запитки, коэффициент внутреннего трения зерновой массы, а также коэффициент трения зерновой массы о части конструкции. Все эти параметры комплексно влияют на производительность выгрузной системы и эффективность технологического процесса выгрузки зерна.

Обычно выгрузная система зерноуборочного комбайна состоит из двух, трех или четырех шнеков (см. рис. 1). Процесс выгрузки начинается с горизонтального шнека, где зерновая масса подается из бункера к наклонному шнеку. При этом в двухшнековой системе выгрузки наклонный шнек является поворотным. Вертикальный шнек перемещает зерновую массу и подает ее на поворотный шнек, который транспортирует далее непосредственно в прицеп транспортного средства.

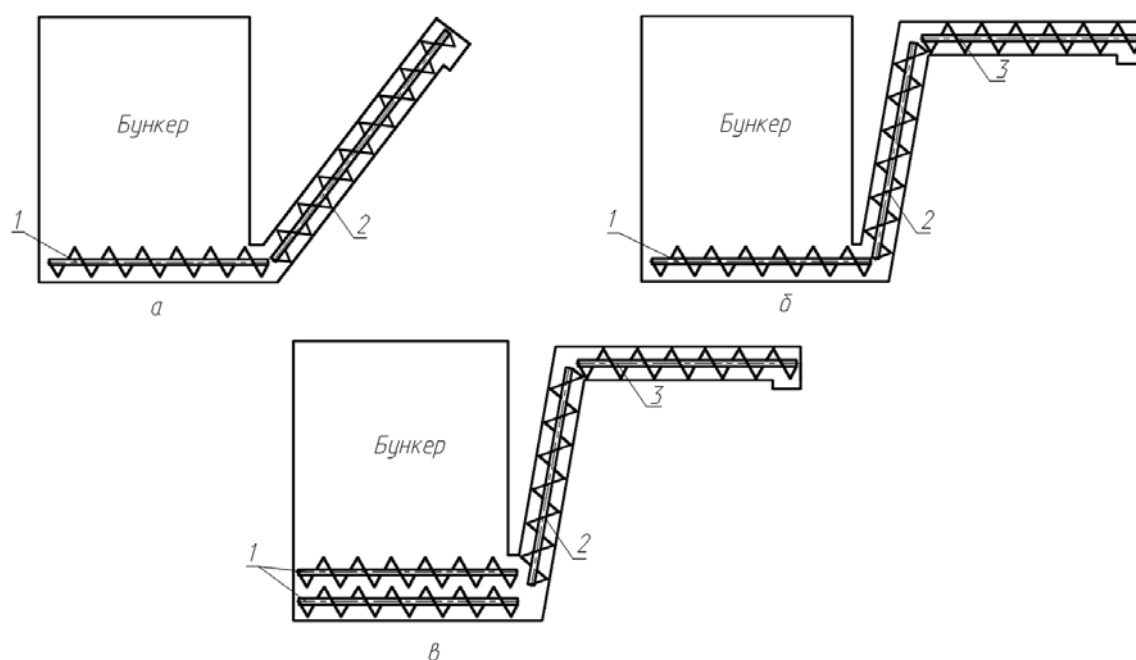


Рис. 1. Выгрузная система зерноуборочного комбайна из двух шнеков (а); из трех шнеков (б); из четырех шнеков (в): 1 – горизонтальный шнек; 2 – наклонный шнек; 3 – поворотный шнек

Оценка производительности выгрузной системы проводится по формуле [1]:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} 60 \psi n c \gamma, \frac{\text{т}}{\text{ч}},$$

где D – наружный диаметр винта, м; d – шаг винта, м; n – число оборотов в минуту; c – коэффициент снижения производительности в зависимости от угла наклона шнека; γ – объемный вес перемещаемого материала, т/м³; ψ – коэффициент заполнения; d – диаметр вала, м.

Величина производительности, рассчитанной по вышеприведенной формуле для выгрузной системы из двух шнеков, коррелирует с результатами испытаний. Однако она не в полной мере отражает общую производительность системы, состоящей из трех или четырех шнеков, либо имеющей шнеки с многозаходными витками.

Для комбайнов с классической двух- и трехшнековой системой выгрузки с односторонним витком наклонного шнека величина коэффициента заполнения ψ выбирается следующим образом: для шнека с запиткой по всей длине (горизонтальный шнек бункера) коэффициент $\psi = 1$; для шнеков, запитка которых осуществляется с торца, коэффициент $\psi = 0,6$.

Как показывает анализ результатов расчета для выгрузной системы из трех или четырех шнеков, ограничивающим производительность выгрузной системы в целом является наклонный шнек. Условия запитки наклонного шнека определяют его производительность. После серии экспериментов для трех- и четырехшнековой системы выгрузки сделаны следующие наблюдения.

Для системы выгрузки с тремя шнеками и двухсторонним наклонным шнеком экспериментальная производительность оказалась выше теоретической на 5 %.

Для системы выгрузки с четырьмя шнеками экспериментальная производительность оказалась выше теоретической на 4–19 %. Стоит отметить, чем выше величина подпора зерновой массы между наклонным и горизонтальными шнеками по производительности (отношение теоретической производительности горизонтальных шнеков к производительности наклонного), тем выше общая производительность выгрузной системы.

Очевидно, что увеличение производительности вертикального шнека в этих случаях произошло из-за увеличения величины подпора зерновой массы в его приемной камере, а также из-за увеличения области запитки вертикального шнека.

По результатам данного анализа для трех- и четырехшнековой системы выгрузки зерна предложено ввести в формулу дополнительный коэффициент, учитывающий условия запитки и подпора зерновой массы наклонного шнека.

После выявленных особенностей влияния величины подпора наклонного шнека и условий запитки на работу выгрузной системы комбайнов была успешно решена задача увеличения производительности зерноуборочного комбайна КЗС-1218.

Этот комбайн имеет классическую трехшнековую систему выгрузки зерна. Очевидным и простым способом повышения производительности выгрузной системы зерноуборочного комбайна КЗС-1218 является увеличение частоты вращения всех трех шнеков. Однако, как показали проведенные расчеты динамических и прочностных свойств системы выгрузки, наращивание частоты вращения шнеков приводит к значительному увеличению массы конструкции и затрачиваемой мощности на его привод. Кроме этого, увеличение частоты вращения приведет к повышенному дроблению зерна и, соответственно, к увеличению потерь.

Учитывая вышеприведенный анализ экспериментальных данных, для увеличения производительности выгрузной системы комбайна был предложен ряд рекомендаций по комплексному изменению геометрических и кинематических параметров шнеков выгрузной системы. Так, было предложено увеличить диаметр наклонного шнека на 20 мм и его шаг – на 30 мм. Уменьшить частоту вращения наклонного и поворотного шнеков в 1,26 раза, что теоретически приведет к увеличению величины подпора зерновой массы. Также в конструкции вертикального шнека рекомендовано установить дополнительный виток в начале запитки, что позволит увеличить производительность не менее чем на 5 %. Также было предложено увеличить диаметр и шаг горизонтального шнека на 10 мм и увеличить диаметр и шаг поворотного шнека на 20 мм.

По результатам расчета теоретическая производительность выгрузной системы зерноуборочного комбайна должна составить 70 л/с, что по сравнению с производительностью выгрузной системы исходной конструкции больше на 20 %.

После расчетов режимов резания было спроектировано приспособление для вихревого нарезания резьбы.

Выбираем профильную схему срезания припуска, показанную на рис. 2, образуемую четырьмя одинаковыми резцами.

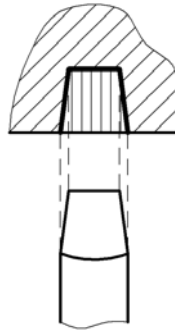


Рис. 2. Схема срезания припуска

С целью обеспечения необходимой точности резьбы, выбираем оптимальное значение соотношения внешнего диаметра резьбы и диаметра расположения резцов:

$$\frac{d_p}{d} = 1,34.$$

Из соотношения находим диаметр установки резцов:

$$d_p = 1,34d = 58,96 \text{ мм.}$$

Принимаем:

$$d_p = 60 \text{ мм.}$$

Рассчитаем смещение оси резцовой головки от оси заготовки:

$$e = 0,5(d_p - d_1) = 14,5 \text{ мм.}$$

Схема обработки резьбы вихревым методом (взгляд со стороны шпинделя) приведена на рис. 3.

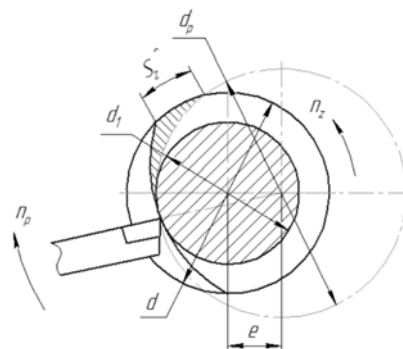


Рис. 3. Схема обработки резьбы вихревым методом (взгляд со стороны шпинделя)

Рассчитаем оптимальный угол наклона резцовой головки.
Определим диаметр отверстия в корпусе резцовой головки:

$$d_0 = d + 2e + 5 = 78 \text{ мм.}$$

Принимаем:

$$d_0 = 80 \text{ мм.}$$

Далее был выполнен расчет и выбор электродвигателя, а также спроектирована ременная передача.

Следующим этапом было проектирование реза.

Форма и основные размеры сменной многогранной пластины приведены на рис. 4.

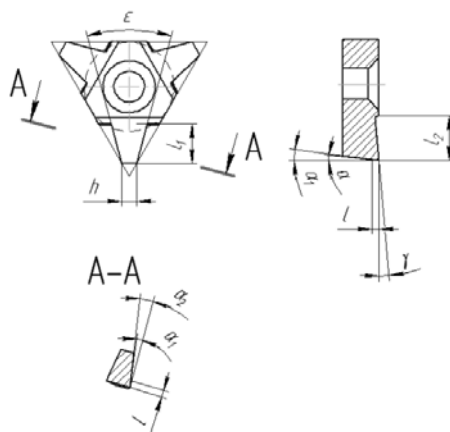


Рис. 4. Форма и основные размеры сменной многогранной пластины

Далее выполнен расчет собственных частот приспособления для вихревого нарезания резьбы, а также определение перемещений от них.

Целью данного анализа является проверка процесса резания на наличие резонанса, а также проверка перемещений, возникающих от этих частот. Расчет будем выполнять посредством программы ANSYS 14.5. Выполняем построение сетки в автоматическом режиме с выбранными программой параметрами (рис. 5).

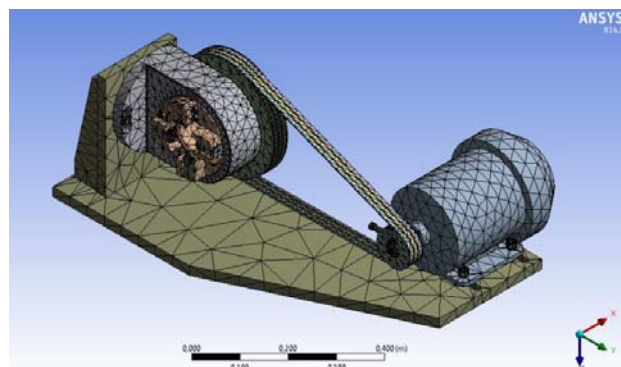


Рис. 5. Конечно-элементная сетка

Далее запускаем расчет и определяем собственные частоты. После того, как собственные частоты определены, выполняем расчет перемещений, образуемых данными частотами (рис. 6, 7).

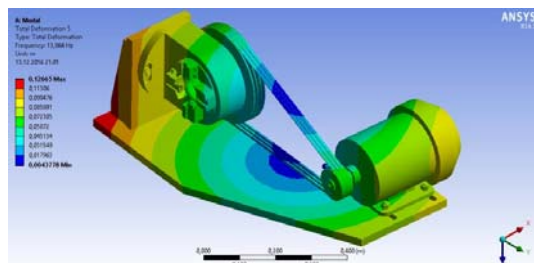


Рис. 6. Эпюра перемещений при частоте (13,064 Гц)

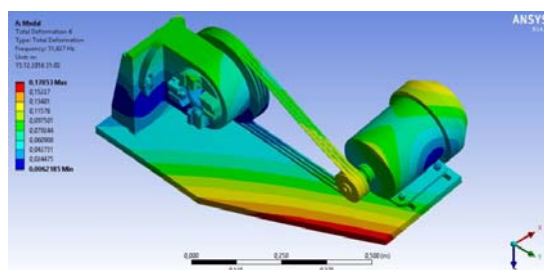


Рис. 7. Эпюра перемещений при частоте (31,627 Гц)

Анализируя вышеуказанные результаты, можно сделать следующие выводы.

Собственные частоты устройства фрезерования резьбы находятся в пределах 0,002412–31,627 Гц. При максимальном значении частоты появляется явление резонанса.

В основном, все наибольшие перемещения находятся в верхней части электродвигателя, а в районе резцовой головки перемещения не превышают и половину допуска на обработку резьбы.

Литература

1. Виксман, Е. С. Скоростное нарезание резьб и червяков / Е. С. Виксман ; под общ. ред. Е. П. Смирнова. – М. : Машиностроение, 1966. – 89 с.
2. Режущий инструмент. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пособие / Е. Э. Фельдштейн [и др.] ; под. ред. Е. Э. Фельдштейна. – Минск : Дизайн ПРО, 2002. – 320 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Ю. С. Усов, Д. Н. Тагай

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. П. Кульгейко

Качество изделий, эксплуатационные свойства деталей машин и надежность их работы в значительной степени зависят от технологии их изготовления и в особенности – от технологии чистовой и отделочной обработки, в процессе которых формируется поверхностный слой деталей.

Одним из методов отделочной обработки, обеспечивающим существенное улучшение эксплуатационных свойств деталей машин, является алмазное выглаживание. Этот способ обработки обеспечивает благоприятное с позиции эксплуатационных свойств сочетание параметров шероховатости, микрорельефа поверхностного слоя, микротвердости, величины и характера распределения технологических остаточных напряжений при изготовлении широкого круга ответственных деталей, таких, как штоки, валы, оси и другие, изготавливаемые, как правило, из высокопрочных сталей и работающие в условиях высоких скоростей, повышенного износа и циклических знакопеременных нагрузок [1].

Актуальной научно-технической задачей является формирование перспективных направлений развития процессов выглаживания для обеспечения высоких показателей качества и ресурса деталей из различных конструкционных материалов. Основное преимущество процесса выглаживания индентором – возможность получения пластическим деформированием упрочненного слоя значительной глубины, наличие которого обеспечивает повышение ресурса деталей и изделий в целом [2].

Анализ процесса выглаживания [3] позволил установить основные значимые факторы контактного взаимодействия инструмента и заготовки, которые формируют показатели качества поверхностного слоя детали в зависимости от технологических параметров процесса:

- удельная сила контактного взаимодействия выглаживателя и заготовки в зоне очага деформации;
- трение на контактной поверхности заготовки и выглаживателя, возникающее при движении инструмента.

Удельная сила контактного взаимодействия определяется силой выглаживания, отнесенной к площади контакта выглаживателя с заготовкой, она пропорциональна глубине вдавливания и определяет толщину упрочненного слоя [2].

Для расчета силы выглаживания можно пользоваться формулой [1]:

$$P = C \cdot \varepsilon \cdot \sigma_m \cdot R^2, \quad (1)$$

где C – коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки; $\varepsilon = h/R$ – относительная глубина внедрения; h – глубина внедрения выглаживателя; R – радиус рабочей части выглаживателя; σ_T – предел текучести обрабатываемого материала.

Практическое использование формулы (1) не всегда возможно, так как не всегда известна величина σ_T для обрабатываемого материала. Удобнее выразить сопротивление деформации поверхностного слоя металла через величину его твердости. В качестве характеристики твердости целесообразно принять твердость по Виккерсу HV как наиболее удобную характеристику, позволяющую оценить в единицах одной шкалы твердость как мягких, так и высокопрочных материалов.

Для учета масштабного фактора, связанного с соотношением радиусов инструмента и обрабатываемой детали, заменим в формуле (1) радиус инструмента R приведенным радиусом:

$$R = \left(\frac{D \cdot R}{D + R} \right)^2, \quad (2)$$

где D – диаметр обрабатываемой детали.

После указанных преобразований формула (1) примет вид:

$$P = C \cdot \varepsilon \cdot \text{HV} \left(\frac{D \cdot R}{D + R} \right)^2, \quad (3)$$

где C – коэффициент; $C = \pi$.

С увеличением приведенного радиуса выглаживания требуется создавать большие усилия в зоне контакта выглаживателя с деталью, т. е., чем больше диаметр обрабатываемой детали и радиус инструмента, тем больше усилия выглаживания. Таким образом, для конкретного обрабатываемого материала и режима обработки (при $\varepsilon = \text{const}$) сила выглаживания зависит от диаметра обрабатываемой детали.

На рис. 1 представлены графики зависимости нормальной составляющей силы выглаживания P от диаметра детали D для некоторых материалов при отделочно-упрочняющей обработке. Как следует из графиков, сила выглаживания значительно возрастает при увеличении диаметра до 50 мм для мягких материалов и до 75 мм – для твердых материалов. Более резкое увеличение усилия наблюдается с увеличением твердости материала детали. При дальнейшем увеличении диаметра детали до 100 мм нормальная составляющая силы выглаживания незначительно увеличивается и в дальнейшем практически остается постоянной.

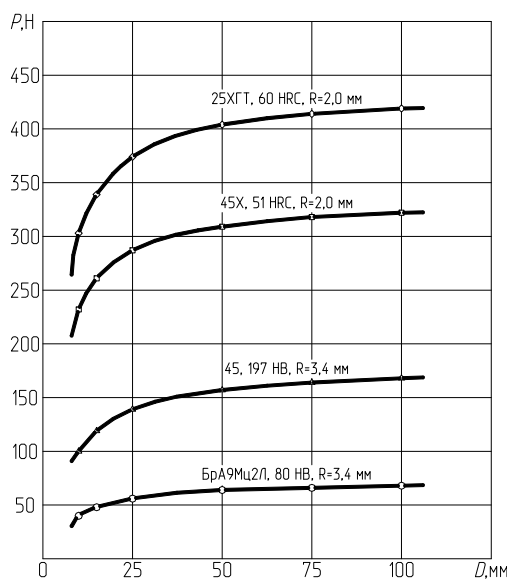


Рис. 1. Зависимость силы выглаживания P от диаметра детали D для конструкционных материалов с различной твердостью

В процессе выглаживания в зоне контакта инструмента с деталью возникают силы трения, которые влияют на процесс протекания пластической деформации, нагрев инструмента и детали, на качество обрабатываемой поверхности. Трение возникает вследствие деформирования тонкого поверхностного слоя материала обрабатываемой детали внедрившимся инструментом и преодоления адгезионных связей, возникающих между инструментом и обрабатываемой поверхностью. Установлено [4], что в случае трения в условиях пластического контакта коэффициент трения:

$$f = f_{\text{деф}} + f_{\text{адг}}, \quad (4)$$

где $f_{\text{деф}}$ – деформационная составляющая коэффициента трения; $f_{\text{адг}}$ – адгезионная составляющая коэффициента трения.

Деформационная составляющая коэффициента трения может быть рассчитана [1] по формуле

$$f_{\text{деф}} = \frac{0,31}{R} \sqrt{\frac{P}{\text{HV}}}, \quad (5)$$

или

$$f_{\text{деф}} = 0,55 \sqrt{\frac{h}{R}}. \quad (6)$$

Адгезионную составляющую коэффициента трения теоретически рассчитать трудно, поэтому ее обычно определяют экспериментально. Коэффициент трения при выглаживании определяется опытным путем как отношение тангенциальной силы P_z к нормальной силе P_y . В наибольшей степени на величину коэффициента трения влияют вид обрабатываемого материала и глубина внедрения (или функционально связанная с ней сила выглаживания).

На рис. 2 представлены графики зависимости коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ и его деформационной составляющей $f_{\text{деф}}$ от силы P при алмазном выглаживании некоторых сталей. Значения деформационной составляющей коэффициента трения $f_{\text{деф}}$ рассчитаны по формуле (5). Адгезионная составляющая принята $f_{\text{адг}} = 0,035$ – для закаленных сталей и $f_{\text{адг}} = 0,05$ – для нормализованных сталей [1].

При увеличении силы выглаживания коэффициент трения и его деформационная составляющая растут, а адгезионная составляющая остается примерно постоянной (рис. 2). Аналогичный вид имеет зависимость коэффициента трения от глубины внедрения выглаживателя.

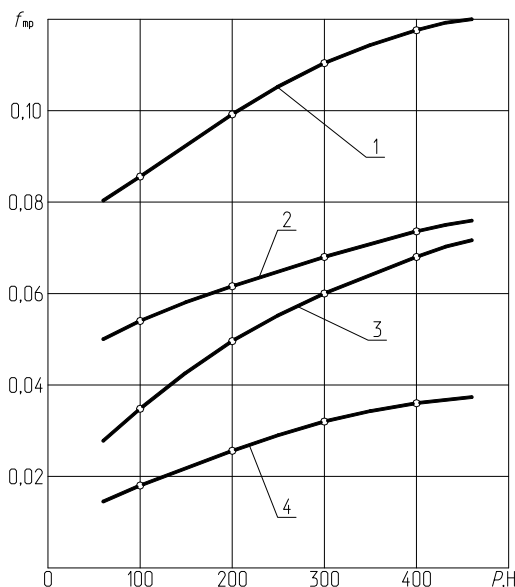


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ (1 и 2) и его деформационной составляющей $f_{\text{деф}}$ (3 и 4) от силы P :
 1, 3 – сталь 25ХГТ; 60 HRC; $R = 2,0$ мм;
 2, 4 – сталь 45; 197 HB; $R = 2,0$ мм

Коэффициент трения зависит также от твердости обрабатываемого материала. Установлено, что с увеличением твердости коэффициент трения уменьшается, что объясняется уменьшением его деформационной составляющей [см. формулу (6)].

Таким образом, в результате исследований определены зависимости силы выглаживания P от диаметра детали D и коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ от силы P для некоторых широко применяемых материалов. Установлено, что с увеличением диаметра деталей до 50 мм требуемая сила P возрастает, а в дальнейшем остается практически на том же уровне. С увеличением силы выглаживания P коэффициент трения $f_{\text{тр}}$ и его деформационная составляющая $f_{\text{деф}}$ возрастают. Значительное увеличение $f_{\text{деф}}$ наблюдается при увеличении силы P до 400–500 Н.

Литература

1. Торбило, В. М. Алмазное выглаживание / В. М. Торбило. – М. : Машиностроение, 1972. – 105 с.
2. Чепан, П. А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей / П. А. Чепан, В. А. Андрияшин. – Минск : Наука и техника, 1988. – 192 с.
3. Титов, В. А. Повышение ресурса изделий из титановых сплавов методом алмазного выглаживания / В. А. Титов, А. В. Титов // Кузнечно-штамповочное пр-во. – 2010. – № 4. – С. 18–24.
4. Михин, Н. М. Трение в условиях пластического контакта / Н. М. Михин. – М. : Наука, 1968.

Секция II МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЧ-СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

О. А. Кизина

*Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Научный руководитель А. Л. Адамович

Целью данной работы было установить факторы, влияющие на качество сушки древесины и пиломатериалов энергией СВЧ-поля и определить основные показатели технологических режимов такой сушильной технологии.

Методы. В работе использовались теоретический метод анализа литературных источников, экспериментальные исследования распределения областей прогрева на поверхности и в объеме пиломатериалов в макетном образце установки СВЧ-сушки древесины с помощью тепловизора FLIR ThermoCAM.

Полученные результаты. Согласно [1], а также ГОСТ 19773–84 и 18867–84, основные факторы, влияющие на длительность сушки: требуемое качество сушки, древесные породы, влажность древесины, толщина пиломатериалов, температура сушки, скорость сушильного агента. В [3] настоятельно рекомендуется проводить подсушку древесины на корню для древесины мягких пород – сосна, липа, ель. Вторым этапом рекомендуется проводить атмосферную сушку срубленной древесины, что позволяет с минимальными финансовыми затратами подсушить древесину до транспортной влажности в 25–35 % при времени такой сушки не менее 12 ч [2]–[4].

Выделяют 4 категории качества высушенной древесины: 0, I, II, III и две группы режимов сушки [1] – высокотемпературные (ВТ) и низкотемпературные. Последние, в свою очередь, делятся на 2 группы по породам дерева: 1 – для хвойных пород; 2 – для лиственных пород; на 3 группы по используемым температурам: на мягкие (М); нормальные (Н) и форсированные (Ф). Связь между режимами сушки и категориями качества показана в табл. 1.

Древесину хвойных пород, не относящуюся к ценным и трудносохнущим, описывают на примере сосны. Для описания лиственных лесоматериалов используют березу, ольху, ясень, дуб и бук [3], [4]. Ценные и трудносохнущие хвойные описываются на примере лиственницы. Связь между категориями качества (КК) и режимными параметрами процесса сушки древесины показана в табл. 1. Как видно из таблицы, в высушенной древесине остаточная влажность допускается не более 20 %. Именно при этой влажности древесина не портится при транспортировке и не гниет [4].

Наиболее экономичные режимы сушки могут быть обеспечены при температуре материала 60–100 °С и температуре воздуха в камере в пределах 50–70 °С, а наиболее скоростные – при температурах выше 100 °С и ниже 50 °С, соответственно [1]. При этом при повышении температуры в пиломатериале выше 85 °С начинается снижение прочности, скалывание и потемнение древесины редких и ценных пород [4]. Таким образом, рационально использовать мягкие и нормальные режимы для сушки древесины до категорий I–III и форсированные – для категории 0, не применяя высокотемпературных.

Для СВЧ-сушки, помимо описанного выше, очень большое значение имеет равномерность распределения СВЧ-поля по поверхности и в объеме пиломатериалов.

В экспериментах исследовались влияние на этот показатель способа укладки пиломатериалов в камере установки и непосредственно процесс их сушки.

Источники СВЧ-волн в экспериментах – магнетроны с рабочей частотой 2,465 ГГц и полезной мощностью 0,9 кВт в количестве 2 шт. Расположены в верхней стенке камеры в ее центральной части. Пиломатериалы использовались сосновые короткомерные размерами 450 × 110 × 25 мм с начальной влажностью около 30 %. Пиломатериалы укладывались в один слой.

Таблица 1

**Категории качества сушки древесины и их влияние
на характеристики сушильного агента**

Категория качества	Остаточная влажность древесины, %	Назначение древесины	Режим сушки	Древесные породы	Температура сушки, °С	Влажность в зоне сушки, %
0	16–20	Транспортировка, в том числе, на экспорт	ВТ или Ф	Сосна, ель, пихта, кедр	100–110	60
I	6–8	Производство лыж, приборостроение, точное машиностроение и силовые конструкции	М	Ясень, дуб, бук, граб	60–70	66
II	6–10	Производство столярно-строительных изделий ответственного назначения, мебели и музыкальных инструментов	М, Н	Береза, ольха, осина	75–85	62
III	8–15	Производство столярно-строительных изделий, погонаж, товарное вагоностроение, тара	Н, Ф	Липа, тополь	85–100	60

На выбор режима сушки также оказывает влияние толщина пиломатериалов. В большей степени характерно для лиственных пород (см. табл. 2).

Таблица 2

Значения толщины пиломатериалов и режимы сушки лиственных пород

Порода древесины	Толщина пиломатериалов, мм							
	1	2	3	4	5	6	7	8
осина	До 22	Свыше 22–32	Свыше 32–40	Свыше 40–50	Свыше 50–60	Свыше 60–75	Не используется	Не используется
Тип режима	Н, Ф				Н	Н	–	–
береза	До 22	Свыше 22–32	Свыше 32–40	Свыше 40–50	Свыше 50–60	Свыше 60–75	Свыше 75–100	Не используется
Тип режима	М, Н, Ф				М, Н		Н	–
ольха, липа тополь	До 22	Свыше 22–32	Свыше 32–40	Свыше 40–50	Свыше 50–60	Свыше 60–75	Свыше 75–100	Не используется
Тип режима	Н, Ф				Н	Н	Н	–

Термограммы экспериментов для различных способов укладки пиломатериалов на расстоянии 15 см от излучателей показаны на рис. 1. Температура центра пиломатериалов составила +16,1 °С для рис. 1, а; +21,4 °С – для рис. 1, б; +19,6 °С – для рис. 1, в и +23,3 °С – для рис. 1, г.

Как видно из рис. 1, наиболее приемлемое распределение СВЧ-поля, а значит, и областей прогрева по поверхности и в объеме пиломатериалов достигается при их укладке под углом в 24° относительно нижней стенки установки, при ориентации вектора E (электрическая компонента СВЧ-поля) поперек волокон древесины. При этом более влажные пиломатериалы следует располагать в левой части технологической зоны ближе к источникам излучения, так как она прогревается сильнее.

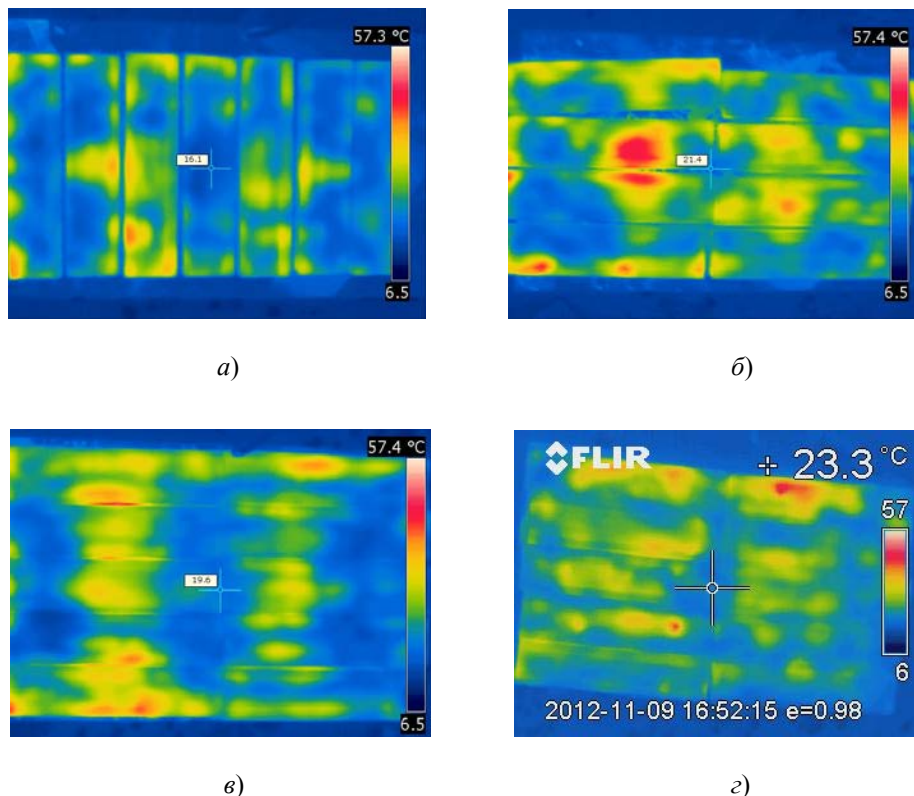


Рис. 1. Термограммы для укладки пиломатериалов в макетном образце установки: вдоль волокон древесины относительно вектора E (а); поперек волокон (б); на ровной поверхности (в); под углом в 24° (г)

Заключение. По результатам работы были сделаны следующие выводы:

1. Основные факторы, влияющие на режим СВЧ-сушки лесоматериалов, – порода, категория качества древесины, толщина пиломатериалов и равномерность распределения СВЧ-поля в технологической зоне сушки.
2. Предпочтительно укладывать пиломатериалы при ориентации вектора E поперек волокон древесины под углом в 24° относительно нижней стенки камеры.
3. Для получения высокого качества следует ограничиваться низкотемпературными режимами сушки. Древесину мягких пород подсушивать на корню и сушить до загрузки в установку СВЧ-сушки атмосферным способом в течение 12 ч.

Литература

1. Болдырев, П. В. Сушка древесины / П. В. Болдырев. – изд. 3-е. – СПб. : ПрофиКС, 2007. – 166 с. : ил.
2. Адамович, А. Л. Нагрев и сушка пиломатериалов в макетном образце СВЧ-установки / А. Л. Адамович, Ю. Г. Грозберг, О. А. Кизина // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В «Прикладные науки». – 2013. – № 11. – С. 82–84.
3. Богомазов, В. В. Исследование процесса скоростной сушки древесины в поле токов высокой частоты : автореф. дис. ... канд. техн. наук. по специальности 05.421 «Машины, оборудование и технология лесопильных и деревообрабатывающих производств» / В. В. Богомазов. – Минск, 1970. – 28 с.
4. Галкин, В. П. Сушка древесины в электромагнитном поле сверхвысоких частот : автореф. дис. ... д-ра техн. наук по специальности 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» / В. П. Галкин. – М., 2010. – 40 с.

**ЭЛЕКТРОДНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
КОМБИНИРОВАННЫХ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ****П. Н. Солдатенко***Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Научный руководитель В. Г. Залесский

Ионные источники широко применяются для нанесения тонкопленочных слоев металлов, полупроводников и диэлектриков. Одним из методов увеличения эффективности таких источников является использование сильноточных эмиттеров электронов для поддержания процессов ионизации и обеспечения устойчивого горения разряда, компенсации как объемного заряда в пучке, так и поверхностного на формируемой пленке. В настоящее время для этих целей используются твердотельные накаливаемые эмиттеры [1]. Однако в условиях интенсивных ионных потоков ресурс таких эмиттеров ограничен вследствие интенсивной ионной бомбардировки. Поэтому поиск безнакальных компенсационных эмиттеров электронов достаточно актуален.

В системах с плазменным эмиттером получение низкоэнергетичных компенсирующих электронных пучков возможно либо вследствие рекуперации энергии, либо за счет создания оптимальных условий для формирования таких пучков непосредственно в источнике. При формировании электронных пучков требуемой геометрии в системах с плазменным эмиттером определяющими являются положение и форма эмиттирующей плазменной поверхности. Они, в свою очередь, обусловлены параметрами плазмы, характеристиками системы формирования пучка (потенциал и геометрия формирующих электродов) и величиной приведенной напряженности поля, ускоряющего электроны. Последнее определяет энергию электронов в пучке.

Поскольку условия формирования ионных пучков в известных системах магнетронного типа близки, в первую очередь, по давлению, к условиям формирования электронных пучков в системах с плазменным эмиттером, то возможно создание комбинированных источников, обеспечивающих формирование как электронных, так и ионных пучков. Такие системы могут формировать скомпенсированные ионные пучки, пучки нейтральных атомов, или обеспечивать попеременное или одновременное воздействия пучками обоих типов заряженных частиц, и, значит, представляют уникальный универсальный инструмент для нанесения пленочных покрытий различного назначения.

Были сформулированы три возможных и принципиально отличающихся способа реализации компенсации заряда пучком распыляющих ионов распыляемой поверхности электронами. Первый заключается в том, что распыляемая мишень облучается одновременно ионным и электронным пучками, генерируемыми независимыми источниками ионов и электронов, использующими независимые системы электропитания и управления. В известных случаях реализации такого способа ионный пучок генерируется системой с плазменным эмиттером ионов на основе газового разряда, а электронный пучок генерируется системой на основе термоэмиссии (с термокатодом) [1].

Второй способ заключается в поочередно-периодическом воздействии на распыляемую мишень ионного и электронного пучков. Этот способ основан на использовании способности плазменного эмиттера эмитировать как ионы, так и электроны в зависимости от полярности ускоряющего заряда напряжения. При этом частота переменного ускоряющего напряжения в электронно-ионной оптической системе с плазменным эмиттером определяется, в основном, как показали известные примеры использования этого способа [1], [2], временем формирования условий на мишени для образования микродуг, и в зависимости от распыляемого материала обычно должна быть в диапазоне от единицы до десятков килогерц. Таким образом, второй способ может быть реализован на основе единой ионно-электронной оптической структуры [3].

Третий возможный, но практически неисследованный способ заключается в том, что он частично объединяет упомянутые первые два способа, но исключает применение электронно-оптической системы с термокатодом и обеспечивает непрерывное воздействие ионного и электронного пучков, поступающих на распыляемую мишень через единое пространство дрейфа ускоренных зарядов.

На рис. 1 показана схема электродов для формирования последовательно (вдоль оси) двух плазменных эмиттеров: электронного и ионного. Плазма, через часть поверхности которой осуществляется отбор (эмиссия) электронов, формируется в объеме, ограниченном внутренними поверхностями стержневого катода 1, цилиндрического катода 5, вспомогательного анода 3 и основного анода 7. Указанные электроды разделены изоляторами 2, 4 и 6. Катоды 1 и 5 являются наконечниками постоянного магнита, создающего между ними магнитное поле, которое способствует осцилляции вторичных γ -электронов с катодов в пространство формирования плазмы. Электроды 7 и 9 образуют промежуток ускорения электронов, где формируется поверхность плазмы, эмитирующая электроны. Изолятор 8 должен быть рассчитан на напряжение, на 50–100 В превышающее напряжение ускорения ионного пучка. Это напряжение по величине более 2–3 кВ использовать нецелесообразно, так как интенсивность распыления материалов ионами с дальнейшим его увеличением возрастает незначительно.

Электроды 9, 11, 13, 15 и 17 образуют газоразрядную структуру, формирующую плазму, являющуюся источником распыляющих ионов. Эта структура состоит из двух соединенных последовательно (вдоль оси) газоразрядных ячеек «пеннинговского» типа [1]. Элементы этой структуры 10, 12, 14 и 16 являются соответствующими изоляторами; элементы 11 и 15 являются анодами разрядных ячеек; элементы 9, 13 и 17 – катодами, которые одновременно являются полюсными наконечниками постоянных магнитов, обеспечивающих осцилляцию электронов между катодами этой (второй) газоразрядной структуры. Одновременно с этим магнитное поле, формируемое катодами 9, 13 и 17 образует некоторую магнитную фокусирующую систему для ускоренного электронного пучка, распространяющегося вдоль оси этой (второй) газоразрядной структуры до выхода из источника ионно-электронного пучка в технологическую камеру.

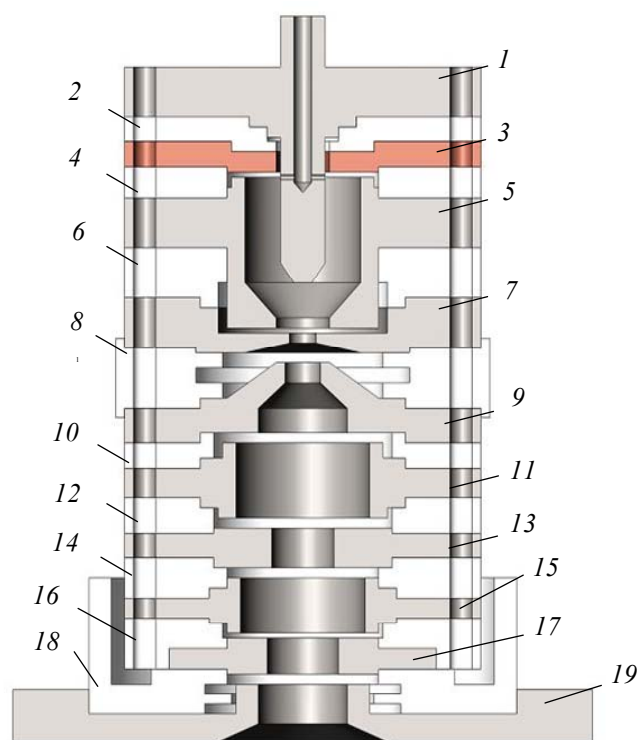


Рис. 1. Электродная структура для формирования последовательно (вдоль оси) двух плазменных эмиттеров: электронного и ионного:
 1 – стержневой катод; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 – изоляторы;
 3 – вспомогательный анод; 5 – цилиндрический катод; 7 – основной анод;
 9, 13, 17 – катоды; 11, 15 – аноды; 19 – ускоряющий электрод

Между электродами 17 и 19 прикладывается напряжение, ускоряющее ионы до требуемой технологией энергии распыляющих ионов. Одновременно в этом же промежутке между электродами 17 и 19 осуществляется торможение пучка электронов, ускоренных в промежутке между электродами 7 и 9. Эмитирующая ионы поверхность плазмы, формирующаяся между электродами 17 и 19, определяет траектории как ионов, так и электронов в пространстве дрейфа электронно-ионного пучка до распыляемой мишени, а значит и определяет распределение плотностей ионного и электронного тока по поверхности мишени.

Напуск рабочего газа в ионно-электронный источник осуществляется через отверстия в катоде 1, а откачка газа из источника – через отверстие в электроде 19. Формирующийся поток газа создает во всей электродной структуре 1–19 источника определенное распределение давления газа, зависящее как от потока напускаемого газа, так и отдаваемое в технологической камере. Последнее определяет также длину дрейфа ионного пучка в технологической камере с приемлемой потерей энергии и импульса пучка ионов.

При давлении в технологической камере около 10^{-2} Па приемлемая длина дрейфа ионно-электронного пучка составляет около 0,1–0,2 м, что обычно достаточно и для технологических целей. Оценочные расчеты показали, что при таком давлении в технологической камере (10^{-2} Па) давление в верхней части второй газоразрядной структуры достигает величины около 10^{-1} Па. Предполагается, что при таком давлении во второй газоразрядной структуре необходимые параметры электронного пучка из первой газоразрядной структуры (электроды 1–8) будут определяться не

только условиями заряда мишени ионным пучком источника, но и условиями инициирования разряда во второй разрядной камере и достижения в ней необходимых параметров плазмы.

Разработанная структура позволяет предполагать возможность создания новых конструкций источников с плазменным эмиттером для получения низкоэнергетичных электронных пучков и электронно-ионных пучков. Применение таких источников, во-первых, обеспечит повышение эффективности ионно-плазменного нанесения покрытий различного назначения и увеличение качества наносимых покрытий, во-вторых, откроет возможности электронно-лучевого ассистирования модификации поверхности материалов ионными пучками и получения покрытий с новыми свойствами.

Л и т е р а т у р а

1. Плазменные эмиссионные системы с ненакаливаемыми катодами для ионно-плазменных технологий / В. Т. Барченко [и др.] ; под общ. ред. В. Т. Барченко. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 220 с.
2. Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионно-лучевые, ультразвуковые / А. П. Достанко [и др.] ; под ред. А. П. Достанко // Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск : Бестпринт, 2009. – 199 с.
3. Антонович, Д. А. Электронно-ионный источник для реализации комбинированного воздействия на поверхность / Д. А. Антонович, В. А. Груздев, В. Г. Залесский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2014. – № 4. – С. 113–118.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА МЕТАЛЛОКОРДА ПЕРЕД НАМОТОМ В ДЕФОРМИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Ю. В. Мартьянов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Для снижения отклонения от прямолинейности металлокорда в процессе его выдержки на приемных катушках используются дополнительные деформирующие устройства (деформаторы), устанавливаемые в канатных машинах перед намотом металлокорда на приемную катушку [1].

Цель: определить влияние параметров деформации металлокорда перед намотом на прямолинейность металлокорда.

К параметрам деформации металлокорда перед намотом на приемную катушку относятся: диаметр деформирующего ролика (РОД); напряжения, создаваемые в металлокорде при изгибе; осевые сдвиги проволок в конструкции металлокорда.

Модель представляет собой металлокорд 2х0,30НТ, который изгибается на деформирующем ролике. В модели учтено натяжение металлокорда и степень деформации проволок при свивке в соответствии с технологической картой.

Оптимальный диаметр деформирующего ролика обеспечивает минимальное отклонение от прямолинейности металлокорда после свивки [2].

В качестве параметра для поиска оптимального диаметра деформирующего ролика принято положение: оптимальный диаметр деформирующего ролика должен обеспечивать максимальную стабильность осевых смещений проволок совместно с максимальной стабильностью упругих напряжений в проволоках конструкции металлокорда при изгибе на РОД. Под стабильностью понимается явление, при котором значение осевых сдвигов и напряжений сохраняется с изменением диаметра РОД. Стабильность осевых смещений проволок обеспечит максимальную равномер-

ность контактных взаимодействий между проволоками в металлокорде. Высокая равномерность контактных взаимодействий в металлокорде способствует снижению уровня релаксации остаточных напряжений и остаточных деформаций, которые и вызывают отклонения металлокорда от прямолинейности. Поэтому обеспечение равномерности контактных взаимодействий между проволоками в металлокорде снижает величину отклонения от прямолинейности металлокорда [3].

После выполнения моделирования снимаются данные по напряжениям при изгибе и по осевому смещению проволок в металлокорде. Вычисляется относительная разница по значениям напряжений и осевому сдвигу между текущим значением и предыдущим по формулам:

$$\varepsilon\sigma_i = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\sigma_{i-1}} 100 \%; \quad (1)$$

$$\varepsilon\Delta_i = \frac{\Delta_i - \Delta_{i-1}}{\Delta_{i-1}} 100 \%, \quad (2)$$

где σ_i – напряжения изгиба, МПа; Δ_i – осевой сдвиг, мм.

Критерием выбора оптимального ролика является условие:

$$\begin{cases} \varepsilon\sigma_i \rightarrow 0, \\ \varepsilon\Delta_i \rightarrow 0. \end{cases} \quad (3)$$

Выражение (3) в векторном представлении имеет вид:

$$\begin{cases} \varepsilon\bar{\sigma}_i \rightarrow 0, \\ \varepsilon\bar{\Delta}_i \rightarrow 0. \end{cases} \quad (4)$$

Согласно (4), справедливо выражение:

$$Sg_i = \sqrt{\varepsilon\sigma_i^2 + \varepsilon\Delta_i^2} \rightarrow 0, \quad (5)$$

где Sg_i – скалярное значение суммы относительных изменений напряжений и перемещений.

По методу локальной оптимизации полином аппроксимирующей функции $Sg(R)$ в точке оптимального диаметра РОД должен принимать экстремальные минимальные значения:

$$Sg(R) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Выполнение условия (6) обеспечивает устойчивый режим макродвижений в конструкции металлокорда, равномерное смещение точек контакта. Повышается стабильность процесса изменения контактного взаимодействия между проволоками и изменения напряжений, возникающих при изгибе. Смещение точек контакта и изменение контактного взаимодействия зависит от осевого сдвига проволок в металлокорде при изгибе.

Значения S_g для металлокорда 2x0,30НТ в зависимости от диаметра РОД в графическом виде представлены на рис. 1.

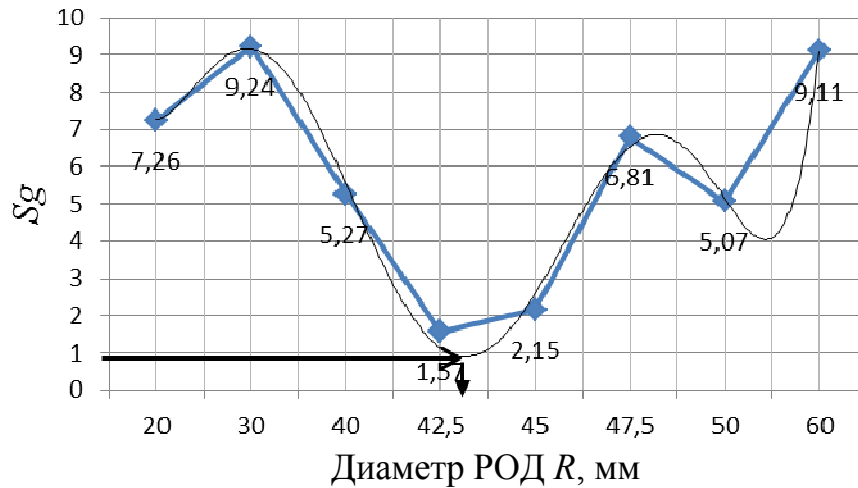


Рис. 1. График зависимости значения S_g от диаметра деформирующего ролика

Таким образом, рекомендуемый диаметр деформирующего ролика равен 43–44 мм.

После теоретических исследований для подтверждения адекватности модели были проведены лабораторные испытания на отклонение от прямолинейности металлокорда конструкции 2x0,30НТ с использованием деформатора с рекомендуемым диаметром РОД. Адекватность модели подтверждена лабораторными испытаниями.

Использование деформирующего ролика рекомендуемого диаметра 44 мм снижает отклонение от прямолинейности металлокорда 2x0,30НТ в среднем на 30 % по сравнению с вариантом производства металлокорда без использования деформаторов.

Согласно данным, полученным в результате моделирования изгиба металлокорда на деформирующем ролике разного диаметра, а также в результате лабораторных испытаний можно сделать вывод о том, что на прямолинейность металлокорда после свивки оказывает влияние диаметр деформирующего ролика. Подтверждено, что значение диаметра деформирующего ролика влияет на уровень напряжений в проволоках в конструкции металлокорда при изгибе и на величину осевых сдвигов проволоки в конструкции металлокорда. Для уменьшения отклонения от прямолинейности металлокорда необходимо обеспечить устойчивый режим осевых макроперемещений в конструкции металлокорда, равномерное смещение точек контакта проволок в конструкции, стабильность изменения напряжений, возникающих при изгибе.

Л и т е р а т у р а

1. Определение диаметра ролика обратной деформации для канатной машины в узле намота металлокорда / Ю. Л. Бобарикин // Обработка материалов давлением. – 2015. – № 1 (40).
2. Бобарикин, Ю. Л. Определение диаметра ролика обратной деформации для канатной машины в узле намота металлокорда / Ю. Л. Бобарикин, С. В. Авсейков, Ю. В. Мартыанов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23–24 апр. 2015 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2015. – 531 с.
3. Бобарикин, Ю. Л. Влияние диаметра деформирующего ролика на макроперемещения в металлокорде / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов / Современные проблемы машиноведения.

ния : тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 20–21 окт. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, ГГТУ им. П. О. Сухого, филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель, 2016. – С. 117–118.

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ

И. М. Крижевский

*Государственное научное учреждение «Институт механики
металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси»,
г. Гомель, Республика Беларусь*

Научные руководители: М. Н. Верещагин, В. П. Сергиенко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого», Беларусь*

Надежную и качественную работу современных механизмов и машин невозможно представить без использования тормозных и передаточных устройств, оснащенных фрикционными материалами. Основное назначение тормозных устройств – это диссипация механической энергии. До 95 % диссипируемой механической энергии преобразуется в тепло, локализованное на фрикционном контакте. Для эффективного теплоотвода и снижения тепловой нагруженности узла трения фрикционные композиты содержат различные теплопроводящие наполнители, например, металлы и их соединения.

Целью данной работы было исследование влияния металлических наполнителей, различного состава, размера и формы частиц на теплофизические свойства фрикционных композитов на основе фенолформальдегидных смол.

Методика испытаний. Исследовали модельные составы фрикционных композитов на основе фенолформальдегидных смол, минеральных и металлических наполнителей. Виды металлических наполнителей представлены в таблице.

Металлические наполнители для фрикционных композитов

Наименование наполнителя	Максимальный размер частиц наполнителя	Форма частиц наполнителя
Fe-B	50 мкм	Сферическая
Медь	10 мкм	Сферическая
ВК6-Бронза	50 мкм	Сферическая
ВК6 (стружка крупнодисперсная)	1,5 мм	Чешуйчатая
Медная проволока	1,5 мм	Волокнистая
ВК6 (порошок мелкодисперсный)	10 мкм	Сферическая
Никелированная латунь	50 мкм	Сферическая

Триботехнические испытания проводились на машине трения И-32, схема испытаний «вращающийся диск – неподвижный индентор». Потерю массы определяли с использованием аналитических весов с допустимой погрешностью измерения не

более $\pm 0,0001$ г. Испытания образцов проводились без смазочного материала. Режим испытаний на машине трения: давление на контакте – 0,27 МПа; линейная скорость скольжения – 7,25 м/с; длительность испытания – 240 мин.

Исследования теплофизических свойств проводились с использованием прибора LFA 447 NanoFlash производства NETZSCH. Данный прибор предназначен для исследования теплофизических свойств твердых материалов (металлы, керамики, полимеры и т. п.) в температурном интервале от 25 до 300 °С. Принцип действия измерителя LFA 447 основан на импульсном методе. В качестве образцов использовались цилиндры диаметром 25,4 мм и толщиной 1,5 мм, изготовленные методом горячего прессования.

Полученные результаты. К числу наиболее важных теплофизических характеристик относятся удельная теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность. На рис. 1–3 приведены результаты определения теплофизических свойств исследуемых составов фрикционных композитов.

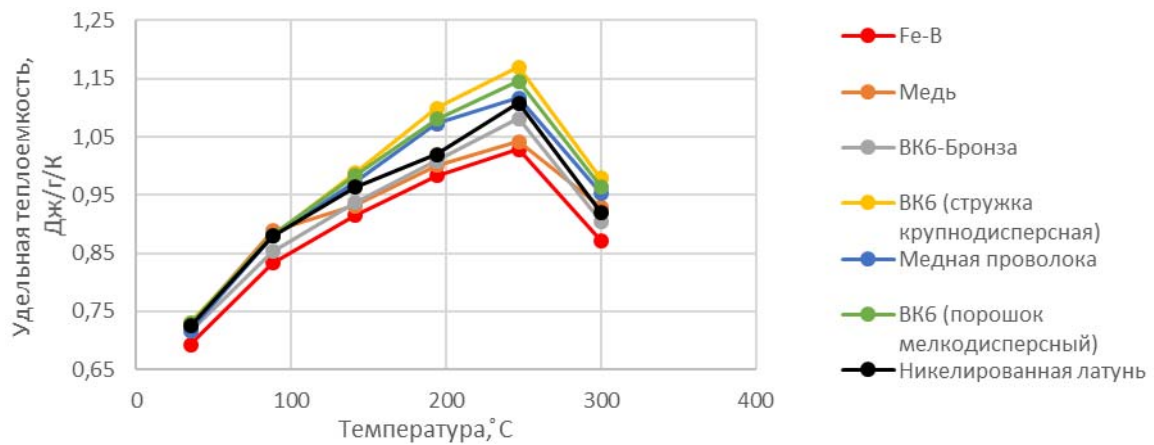


Рис. 1. Удельная теплоемкость исследуемых фрикционных композитов

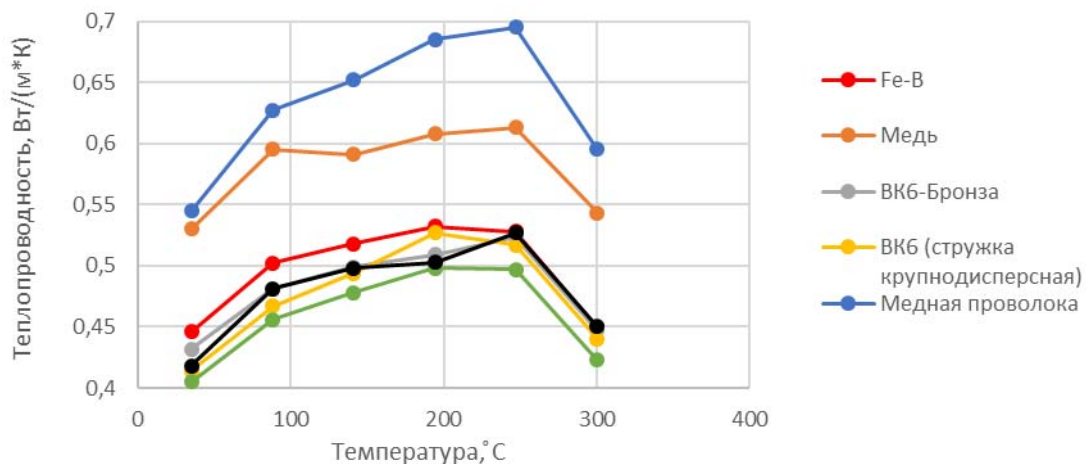


Рис. 2. Теплопроводность исследуемых фрикционных композитов

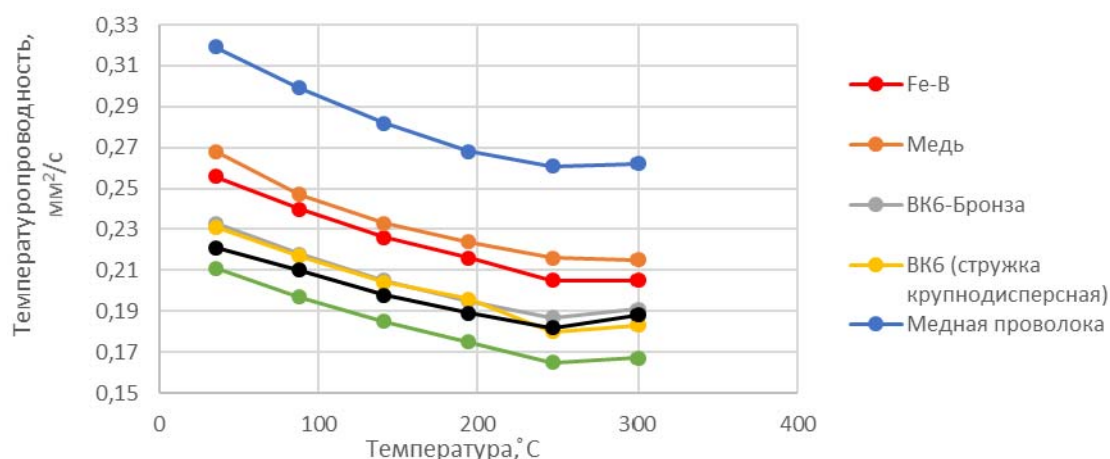


Рис. 3. Температуропроводность исследуемых фрикционных композитов

Теплопроводность ответственна за отвод тепла, выделяющегося в результате трения на рабочих поверхностях, вглубь фрикционного материала и определяет поверхностные температуры, а в конечном итоге – характеристики трения. Также от нее зависит равномерность распределения температуры по поверхности и передача теплоты в окружающую среду и к контактирующим с фрикционным материалом деталям и узлам тормоза. Теплоемкость, в свою очередь, определяет максимальное количество теплоты, которое фрикционный материал способен отвести из зоны трения.

Как видно из полученных результатов, максимальной теплопроводностью обладают фрикционные композиты с металлическими наполнителями из медной проволоки и медного порошка, соответственно.

По результатам триботехнических испытаний были получены зависимости коэффициента трения от времени испытаний (рис. 4), температуры от времени (рис. 5).

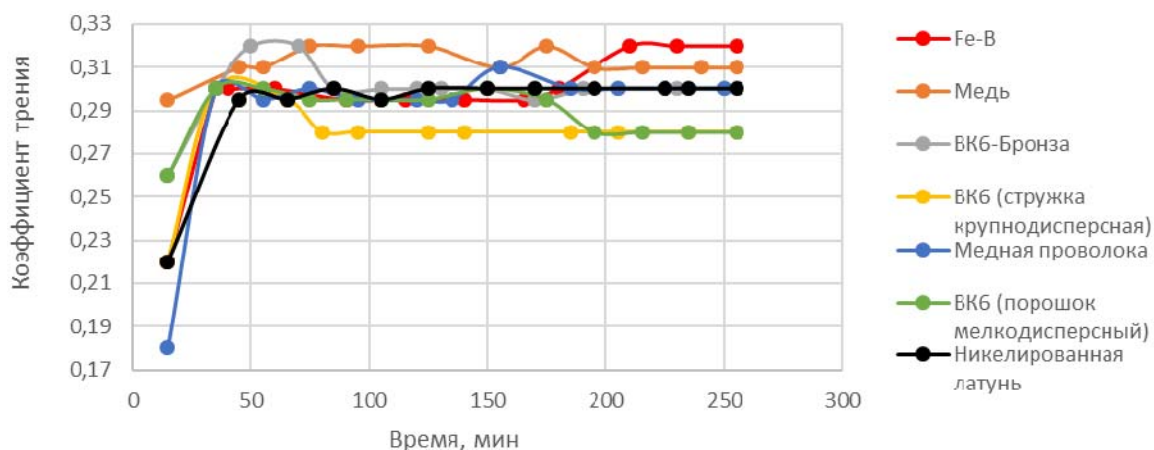


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от времени испытаний

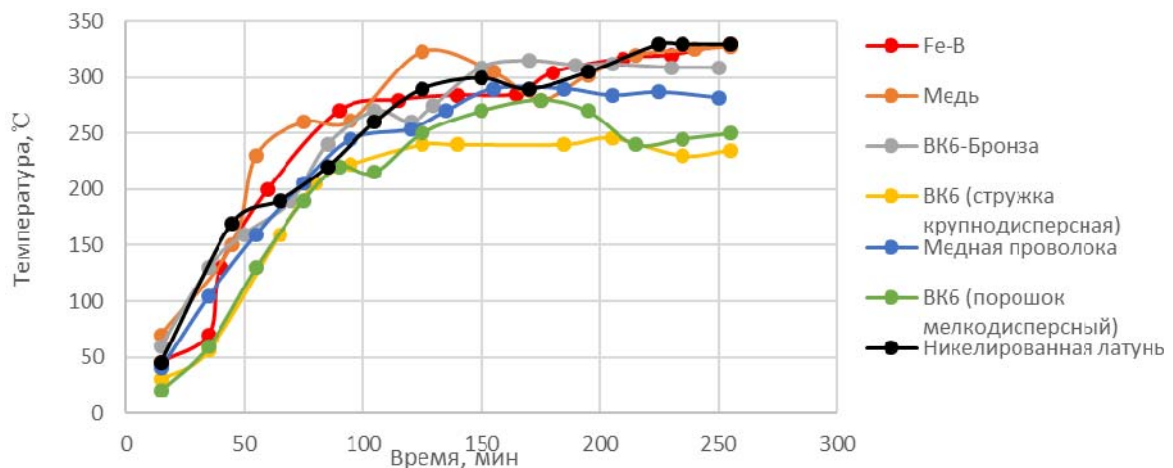


Рис. 5. Зависимость температуры образца от времени испытаний

Заключение. В ходе работы были установлены зависимости теплопроводности и удельной теплоемкости фрикционных материалов от металлических наполнителей. Также установлена связь между теплофизическими и трибологическими свойствами фрикционных материалов. Если взять во внимание то, что фрикционные композиционные материалы, как правило, содержат 10 и более компонентов, среди которых широко используются такие, как стеклоровинг, базальтовое волокно и т. п., обладающие высокой теплоемкостью, то приоритетным теплофизическим свойством для металлического наполнителя будет являться теплопроводность. Следовательно, использование крупнодисперсных металлических наполнителей с высоким коэффициентом теплопроводности будет оптимальным с точки зрения обеспечения оптимально тепловой нагруженности тормозного узла.

РАЗРАБОТКА ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ДЛЯ РИХТОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ В МЕТИЗНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Н. Э. Алексеев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

На этапе тонкого волочения используются рихтовочные устройства для снижения уровня остаточных напряжений в готовой проволоке и небольшой корректировки механических свойств. Механические свойства влияют на технологические свойства самой проволоки, а также на технологические свойства металлических изделий, изготовленных из такой проволоки.

Основная проблема рихтовок для волочильных станов тонкого волочения заключается в низком ресурсе работы на высоких скоростях волочения (до трех недель) и в неравномерном износе подшипников роликов рихтовок, вызывающем разности в моментах сопротивления вращения роликов рихтовок, что влечет за собой неравномерное изменение механических свойств тонкой проволоки [1].

Цель: разработать подшипниковый узел для рихтовочных устройств станов тонкого волочения с повышенным ресурсом работы.

В связи с износом используемых в роликовых узлах подшипников качения, предлагается заменить их подшипниками скольжения с телом трения из антифрикционного композитного материала на основе полимеров.

Роликовая рихтовка с узлами подшипников скольжения представлена на рис. 1.



Рис. 1. Рихтовочное устройство тонкой проволоки

В качестве матрицы композиционного материала выбран политетрафторэтилен (ПТФЭ), также известный как фторопласт-4. Основным критерием выбора фторопласта для материала вкладыша подшипников скольжения рихтовки является низкий коэффициент трения. Основная сложность использования фторопласта в подшипниках скольжения – невысокая износостойкость. Для повышения стойкости к истиранию, а также твердости, теплопроводности, снижения деформации под нагрузкой и коэффициента теплового расширения к фторопласту-4 добавляют различные наполнители, получая композиционные фторопласты [2].

Исследования выполнялись в лабораторных условиях.

Для выбора состава композиционного материала принят температурный критерий. Повышенная температура роликового узла на основе композита отрицательно влияет на механические свойства тонкой проволоки вследствие ее перегрева. Изменение механических свойств тонкой проволоки может отрицательно влиять на ее технологичность, повышение отклонения от прямолинейности и увеличение обрывности металлокорда при свивке из такой проволоки.

В лабораторных условиях опробованы различные процентные соотношения и комбинации наполнителей. Фотографии отдельных образцов и их микроструктура представлены на рис. 2.

После подготовки образцы были проверены на сконструированном стенде, имитирующем нагрузку на ролики рихтовочного устройства. Нагрев образцов при работе не должен превышать порог в 40 °С при испытаниях вследствие снижения технологичности производства проволоки. Температура измерялась с помощью ручного бесконтактного пирометра.

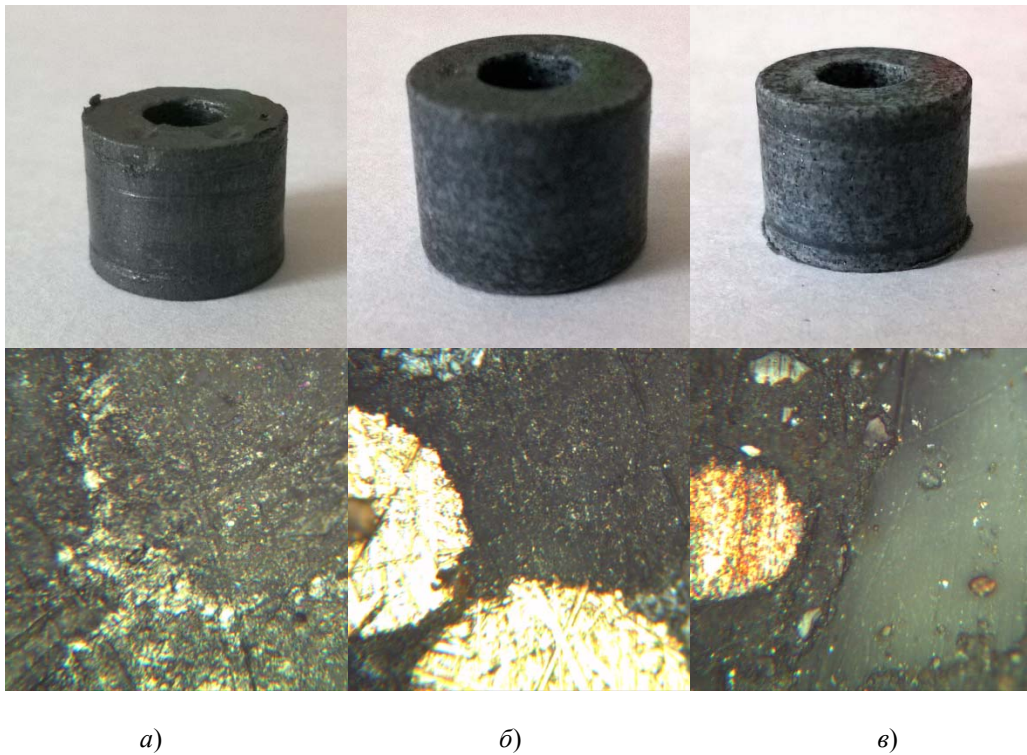


Рис. 2. Фотографии образцов с микроструктурой:
 а – образец 1; б – образец 4; в – образец 7

Полученные при испытаниях данные изображены в виде графиков на рис. 3.

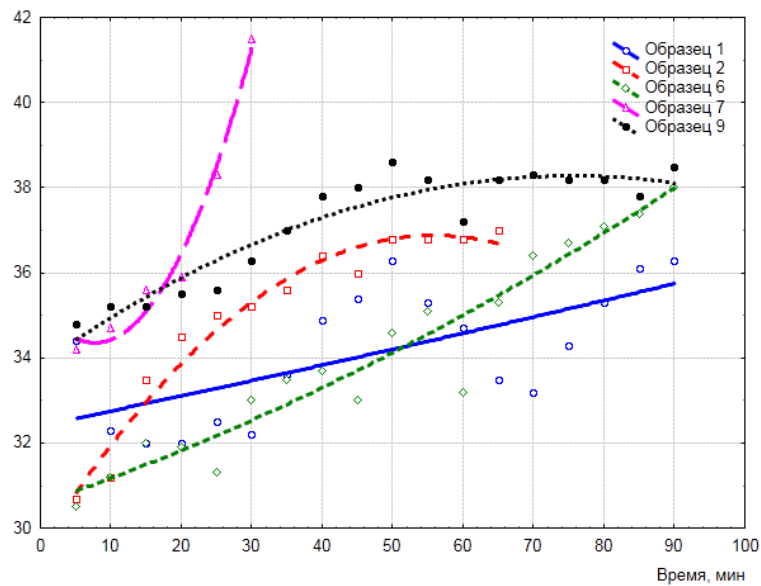


Рис. 3. График зависимости температуры нагрева образцов от трения

По рис. 3 видно, что образец 1 имеет наименьшую степень нагрева. Однако при испытаниях образец 1 показывает малую износостойкость. Совершенствованием состава был получен образец б, имеющий повышенную износостойкость при неболь-

шом увеличении степени нагрева. Испытания остальных образцов были остановлены по причине недостаточных эксплуатационных свойств композиционных материалов.

Предложено использовать подшипники скольжения на основе композиционных материалов с фторопластовой матрицей для роликового узла рихтовочного устройства.

По совокупности температурных и прочностных свойств композиционных материалов отобран образец *б* для использования в роликовых узлах рихтовочных устройств станов тонкого волочения.

Литература

1. Перспективные направления развития производства металлокорда / В. П. Фетисов [и др.] // Ин-т «Чернот-информация». – М. : Экспресс-информ, 1992. – 40 с.
2. Гацков, В. С. Прогрессивные технологии изготовления деталей из антифрикционных материалов : учеб. пособие / В. С. Гацков, С. В. Гацков. – М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – 152 с.

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ И ОПРАВОК ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАСКАТКЕ ЧЕРНОВЫХ ТРУБ

Я. И. Радькин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Одной из главных задач, стоящих перед трубной промышленностью, является сокращение производственных издержек при обеспечении высокого качества выпускаемой продукции.

Производство труб на трубопрокатных агрегатах с непрерывными станами получило наибольшее развитие ввиду высокой производительности и экономичности. Раскатка гильз осуществляется деформацией стенки трубы между оправкой и прокатными валками в нескольких прокатных клетях, что обеспечивает равномерное обжатие стенки трубы. Перед подачей заготовки в валки в нее вводится длинная цилиндрическая оправка, которая движется в очаге деформации вместе с заготовкой. Диаметр оправки определяет внутренний диаметр трубы, а последовательно расположенные круглые калибры, уменьшающиеся в размерах по ходу прокатки, обеспечивают получение необходимого наружного диаметра.

Качество бесшовных труб, в первую очередь, зависит от качества прокатного инструмента и технологических режимов прокатки. При отсутствии постоянного контроля над состоянием прокатных валков и оправок на поверхности труб могут образоваться дефекты (рис. 1), либо при сильном износе инструмента готовая труба не будет соответствовать необходимым геометрическим размерам.



a)

б)

в)

Рис. 1. Дефекты поверхности трубы, возникающие вследствие использования изношенного инструмента: *a* – прорез; *б* – риски; *в* – отпечатки

Стойкость инструмента обуславливается условиями его работы, так как в процессе эксплуатации валки и оправка подвергаются циклическому воздействию термических и механических нагрузок.

Цель работы: определение оптимального режима раскатки черновых труб, при котором износ инструмента будет снижен.

Для решения поставленной задачи был выбран метод численного моделирования. Была построена адекватная численная модель процесса раскатки, которая позволяет определять значения напряжений, деформаций и температурных параметров в очаге деформации, а также силовые параметры, действующие на инструмент. Адекватность численной модели доказана сравнением расчетных и фактических значений силовых и геометрических параметров прокатки. Кроме того, данная модель позволяет определять величину и предполагаемые места износа прокатных валков и оправки.

Моделирование износа прокатного инструмента является сложной задачей, требующей учета влияния на него большого количества факторов. Для моделирования износа была применена модель износа Арчарда:

$$W = \int \frac{K}{H} P |v_{rel}| dt,$$

где W – износ; H – твердость, НВ; K – коэффициент износа; P – контактное давление, МПа; v_{rel} – относительная скорость, м/с.

Основная деформация при раскатке происходит по толщине стенки. При этом максимальная деформация соответствует дну калибра, где толщина стенки в процессе раскатки минимальна. Максимальная толщина стенки определяется в крайней точке области контакта валка и деформируемого металла. Соответственно, максимальный износ располагается по дну калибра и симметрично расходится под углом в направлениях от центра валка. На рис. 2, а красными линиями показано направление износа поверхности валков.

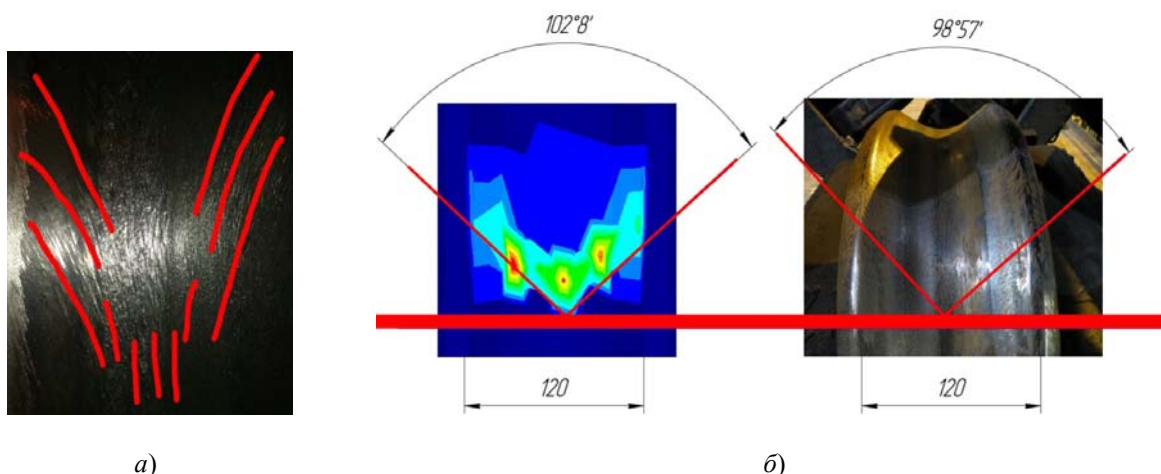


Рис. 2. Моделирование износа прокатных валков:
а – картина износа прокатного валка; б – результат моделирования износа

Как видно из рис. 2, б, картина износа, полученная в результате численного моделирования, соответствует распределению износа на реальном валке, что также указывает на корректность работы численной модели.

Следующим этапом работы было определение оптимальных настроечных параметров непрерывного раскатного стана и режимов прокатки для получения готовой трубы диаметром 70 мм и толщиной стенки 6,3 мм из заготовки диаметром 140 мм.

На базе кафедры «МиТОМ» разработана аналитическая методика расчета геометрических, силовых и скоростных параметров процесса раскатки на стане PQF.

По данной методике были определены геометрические параметры калибров валков для получения данной трубы. После чего был проведен виртуальный эксперимент процесса раскатки гильзы на полученной ранее адекватной численной модели. Результаты экспериментов представлены в таблице.

**Результаты численных экспериментов расчетной
и действующей калибровок стана PQF**

Параметр	Номер клетки							
	VRS		1		2		3	
	Базовое	Расчетное	Базовое	Расчетное	Базовое	Расчетное	Базовое	Расчетное
Сила действия на клетки, кН	41	53	1420	980	1193	1196	676	720
Эффективное напряжение, МПа	53	71	108	105	136	117	121	124
Контактное давление, МПа	610	148	586	491	681	652	623	485
Износ, мм	$2 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$13 \cdot 10^{-10}$	$8 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-10}$	$0,6 \cdot 10^{-10}$	$0,7 \cdot 10^{-10}$

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при использовании новой калибровки нагрузка, действующая на валки первой клетки снижается по сравнению с базовой. А если учесть тот факт, что именно первая клетка подвергается наибольшему износу, то при использовании новой калибровки стойкость валков должна возрасти. Кроме того, с калибровкой, полученной аналитическим способом, наблюдается более равномерное распределения нагрузок между клетями, что должно привести к более равномерному износу валков. Это также подтверждается величинами износа, полученными в результате численного моделирования.

В данной работе были получены следующие результаты:

1. Разработана адекватная численная модель процесса раскатки черновых труб, которая позволяет определять значения напряжений, деформаций и температурных параметров в очаге деформации, а также позволяет прогнозировать износ прокатного инструмента.

2. Определены оптимальные настроечные параметры непрерывного раскатного стана PQF, снижающие величину и повышающие равномерность износа валков.

Определение оптимальных геометрических параметров и правильный расчет скоростного режима непрерывного стана обеспечивает его безаварийную работу, а также получение труб заданных размеров и высокого качества.

**ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПОРОШКОВ
YAG : Ce³⁺, ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЕНИЕМ В ЛИМОННОЙ КИСЛОТЕ****О. В. Давыдова, Н. Е. Дробышевская, Д. И. Покаш***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель О. В. Давыдова

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь остро стоит проблема энергосбережения и замены ламп накаливания на альтернативные источники освещения. Перспективными световыми приборами для этой цели являются светодиодные лампы и светильники. При создании светодиодных источников для освещения компаунд, состоящий из желтого люминофора, производимый из микропорошка иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами редкоземельных элементов, органической основы и стабилизирующих добавок, наносят на поверхность чипа. В последние годы появились светодиодные приборы с люминофорным преобразователем, удаленным от синего или ультрафиолетового светодиода, что позволяет уменьшить термическую деградацию люминофора, повысить долговечность светового прибора, а также использовать более мощные светодиоды. С учетом вышеизложенного, разработка и изучение новых типов люминофоров для удаленных преобразователей, способов их синтеза имеют важное научное и практическое значение. Недавно начались разработки принципиально нового метода синтеза ультрадисперсных оксидных люминофоров высокой степени чистоты, основанного на процессах горения азотнокислых солей в различных органических соединениях (горючих). Эти процессы привлекательны ввиду своей простоты, низкой стоимости.

Экспериментальная часть. Из литературных данных [1] известно, что YAG : Ce³⁺ с удовлетворительными люминесцентными характеристиками может быть сформирован путем «горения» азотнокислых солей в лимонной кислоте, однако авторами не определены оптимальные концентрации органического горючего и режимы процесса синтеза. Нами были проведены эксперименты по разработке нового варианта синтеза YAG : Ce³⁺, в котором в качестве исходных материалов были использованы: оксид иттрия, азотнокислые соли алюминия и церия, а в качестве комплексобразователя и горючего – лимонная кислота с различным мольным соотношением «нитраты солей : лимонная кислота». В раствор из трех солей: нитрата иттрия, нитрата алюминия, нитрата церия в пропорции, соответствующей формуле Y_{3-x}Al₅O₁₂ : Ce_x, добавляется лимонная кислота (C₆H₈O₇ · H₂O) в пересчете на безводную форму, и далее кислота растворяется в смеси нитратов в количестве, составляющем 0,5, 1,0 и 1,5 доли от общего количества молей металлических солей (условно-малое, среднее и большое количество кислоты). После этого емкость с раствором помещается в термошкаф и при перемешивании выдерживается в течение 2 ч (80–90 °С). По истечении этого времени в емкости образуется прозрачный гель, далее температуру в термошкафу поднимают и при температуре 240 °С происходит реакция горения в течение 15 мин с образованием рыхлого порошка. После завершения процесса горения порошок подвергается обжигу при температуре 700–1200 °С и выдерживается при каждой температуре один час.

Внешний вид прекурсора, получаемого при горении азотнокислых солей в лимонной кислоте (рис. 1), удельная поверхность и размеры агрегатов YAG : Ce в значительной степени зависят от количества кислоты относительно навески солей, а также от температуры прокаливания (таблица).

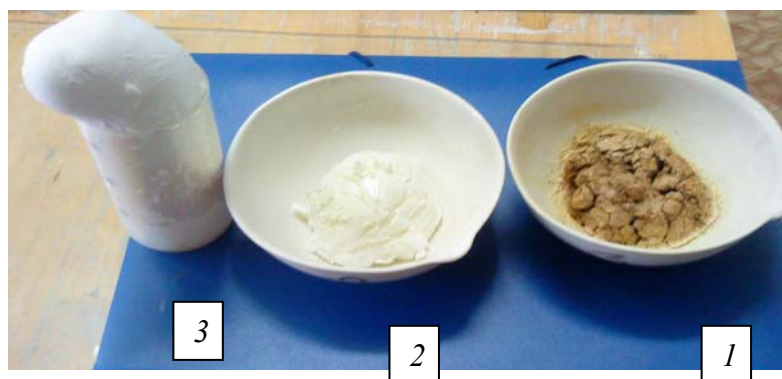


Рис. 1. Внешний вид прекурсора, получаемого при горении азотнокислых солей в лимонной кислоте: 1 – малое; 2 – среднее и 3 – большое количество кислоты (пояснения см. в тексте)

Удельная поверхность порошков YAG : Ce, полученных при горении в лимонной кислоте в зависимости от температуры прокаливания и соотношения «нитраты : лимонная кислота»

T, C	$S_{\text{уд}} \text{ YAG : Ce,}$ горение в лимонной кислоте (малая концентрация), $\text{м}^2/\text{г}$	$d, \text{мкм}$	$S_{\text{уд}} \text{ YAG : Ce,}$ горение в лимонной кислоте (средняя концентрация), $\text{м}^2/\text{г}$	$d, \text{нм}$	$S_{\text{уд}} \text{ YAG : Ce,}$ горение в лимонной кислоте (большая концентрация), $\text{м}^2/\text{г}$	$d, \text{нм}$
700	1,7	0,78	8,8	150,68	11,5	115,30
900	1,5	0,88	14,0	94,71	17,5	75,77
1000	1,3	1,02	21,0	63,14	27,0	49,11
1100	0,6	2,21	16,0	82,87	14,0	94,71
1200	0,1	13,26	6,0	220,99	6,4	207,18

Максимальная удельная поверхность порошков, полученных методом горения в лимонной кислоте при оптимальном количестве горючего (1,0–1,5 М), экспоненциально увеличивается с ростом температуры прокаливания, что связано с удалением с поверхности агломератов адсорбированных слоев воды, гидроксидов и остатков органики, и достигает максимума при температуре около 1000 °С (21–27 $\text{м}^2/\text{г}$), далее начинает снижаться, что связано с формированием кристаллической решетки граната, ростом нанокристаллов в агрегатах и упорядочиванием их структуры (6,0–6,4 $\text{м}^2/\text{г}$ при 1200 °С). По мере роста температуры с поверхности частиц порошка удаляются примесные группы (ОН, NO, CO₂), открывается поверхность наночастиц с размерами 50–60 нм при 1000 °С, а при дальнейшем повышении температуры они сплавляются в более крупные агрегаты (при 1200 °С – около 0,2 мкм).

Результаты сканирующей электронной микроскопии показывают образование при горении пористых агломератов в виде частиц неправильной формы с острыми углами и размерами от 50 до 500 мкм (рис. 2), которые при прокаливании становятся более «рыхлыми» и легко рассыпаются под действием небольших механических усилий (дробление в ступке, размол в шаровой мельнице).

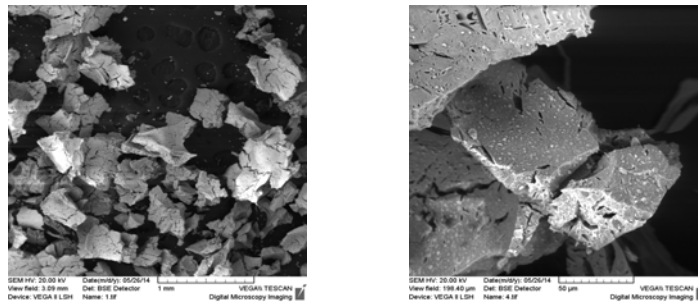


Рис. 2. СЭМ-изображение прекурсора, полученного при 240 °С с использованием лимонной кислоты (среднее количество), в качестве горючего при разном увеличении

Данные ИК-спектроскопии подтверждают формирование кристаллической фазы граната $Y_3Al_5O_{12}$ с лимонной кислотой в качестве восстановителя при температуре около 900 °С.

Порошки на основе $YAG : Ce^{3+}$, синтезированные методом горения в сахарозе, уксусной и лимонной кислоте, при возбуждении синим светом ($\lambda = 460$ нм) люминесцируют идентичным образом в диапазоне 470–720 нм с максимумом на 520–550 нм (рис. 3), однако интенсивность их люминесценции разная и связана в значительной степени с методом получения и условиями термообработки прекурсора. Так, наибольшей интенсивностью люминесценции обладают порошки на основе $YAG : Ce^{3+}$, синтезированные методом горения в лимонной кислоте, прокаленные при 1200 °С (рис. 3). Измерение спектров люминесценции образцов, получаемых горением в лимонной кислоте, прокаленных при различных температурах на воздухе, демонстрирует слабую люминесценцию при 900 °С (начало формирования кристаллической фазы) и резкий рост интенсивности при обжиге образцов выше 1100 °С. Так, при температуре 1200 °С (1 ч) интенсивность люминесценции возрастает примерно в 10 раз. Недостатком процесса синтеза люминесцентного порошка горением в лимонной кислоте является повышенная температура формования (1200 °С).

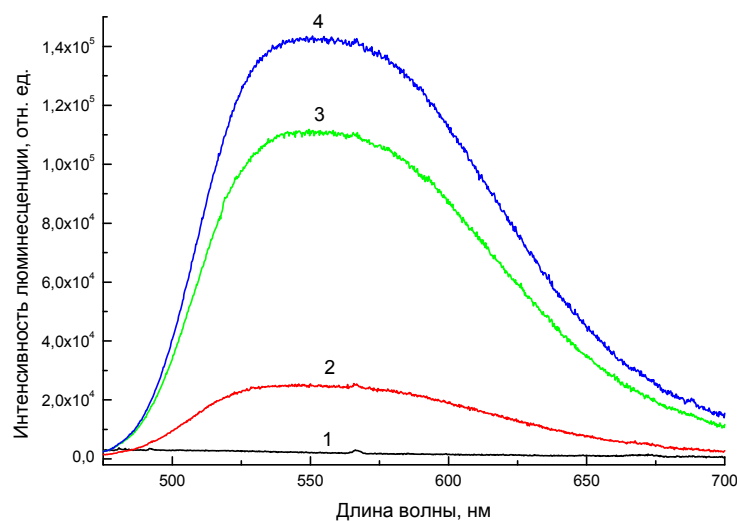


Рис. 3. Спектры люминесценции порошков $YAG : Ce$, полученных методом горения в лимонной кислоте ($\lambda_{\text{возб}} = 440$ нм): 1 – 240 °С; 2 – 900 °С; 3 – 1100 °С; 4 – 1200 °С

Заключение. Порошки YAG : Ce³⁺, синтезированные методом горения в лимонной кислоте, при возбуждении синим светом ($\lambda = 460$ нм) люминесцируют в диапазоне 470–720 нм с максимумом 520–550 нм. Наибольшую интенсивность демонстрируют порошки, прокаленные при 1200 °С, причем интенсивность при этом возрастает в 10 раз по сравнению с таковой для 900 °С. Это связано с увеличением размеров агрегатов от десятков нм до субмикронных (около 0,2 мкм).

Литература

1. Chung, D. N. Synthesis and Characterization of Ce-Doped Y₃Al₅O₁₂(YAG : Ce) Nanopowders Used for Solid-State Lighting / D. N. Chung, Do Ngoc Hieu, Tran Thi Thao, Vo-Van Truong, and Nguyen Nang Dinh // Journal of Nanomaterials. – 2014. – Article ID 571920. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/571920>. – Date of access: 07.08.12.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВ ОКСИДА ИТТРИЯ, АКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ ТЕРБИЯ Y₂O₃ : Tb³⁺ (ЗЕЛЕНый ЛЮМИНОФОР)

О. В. Давыдова, Н. Е. Дробышевская, В. Н. Шиленкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель О. В. Давыдова

Введение. Оксидные люминофоры в последнее десятилетие привлекают повышенное внимание ученых и разработчиков оптических и оптоэлектронных приборов различных классов и назначений. Они применяются в конструкциях плоских автоэмиссионных экранов (Field Emission Display – FED), экранах цветного телевидения высокого разрешения, для маркировки и контроля товаров и продуктов [1].

Оксид иттрия является подходящей матрицей для введения легирующих ионов ввиду наличия большой ширины запрещенной зоны (5.8 эВ), высокого значения диэлектрической проницаемости, высокой термической и химической стабильности, а также прозрачности для видимого излучения. Производится в форме белого порошка (плотность равна 5,046 г/см³) с $T_{пл} = 2417$ °С или бесцветных диамагнитных кристаллов [2].

Экспериментальная часть. Для получения наноструктурированных порошков оксида иттрия с эффектом люминесценции в зеленой области спектра Y₂O₃ : Tb³⁺ проводили процесс термохимического синтеза (горения) солей Y(NO₃)₃ и Tb(NO₃)₃ с использованием смеси карбамида и гексаметилентетрамина (ГМТА) при температуре поджига 350 °С и температуре прокаливания 650 °С (1 ч) в муфельной печи в условиях слабоокислительной среды.

Изучены структурные, морфологические и спектрально-люминесцентные характеристики порошков Y₂O₃ : Tb³⁺.

Из рассмотрения СЭМ-изображений полученных порошков (рис. 1) можно видеть, что образцы представляют собой рыхлые образования в виде агломератов неправильной формы с поперечными размерами до 200 мкм с разветвленной поверхностью, пронизанные сквозными порами. Агломерированные порошки легко разрушаются небольшими механическими усилиями, хорошо диспергируются в водно-спиртовых средах, органических лаках и расплавах полимеров.

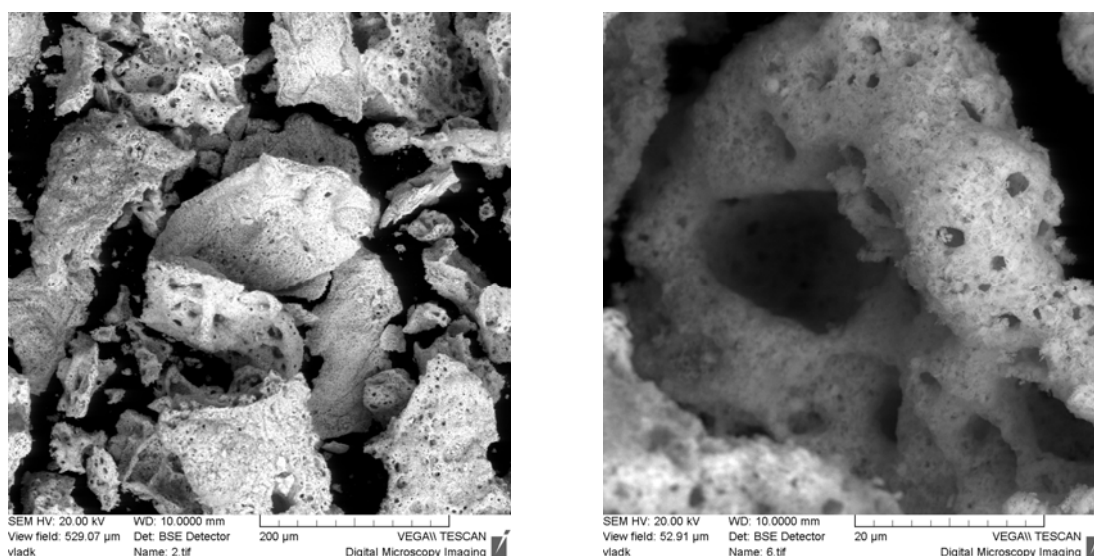


Рис. 1. СЭМ-изображение образцов $Y_2O_3 : Tb$, полученных горением азотнокислых солей в смеси карбамида и ГМТА при различном увеличении

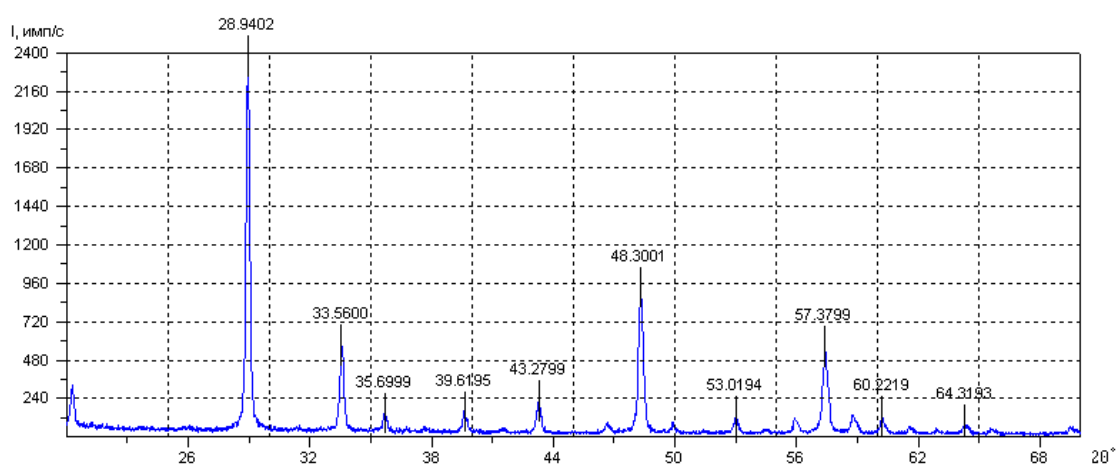


Рис. 2. Дифрактограмма образцов $Y_2O_3 : Tb^{3+}$, полученных при горении в карбамиде и ГМТА с прокаливанием прекурсора при температуре $650\text{ }^{\circ}C$

Рентгенофазовый анализ образцов $Y_2O_3 : Tb^{3+}$, проведенный после прокаливания прекурсора, полученного при горении в карбамиде и ГМТА при температуре $650\text{ }^{\circ}C$, подтвердил наличие кристаллической монофазы оксида иттрия в соответствии с данными каталога JCPDS–1996 (карточка № 43-1036) (рис. 2). Других фаз в составе полученных образцов не обнаружено.

Анализ спектров люминесценции $Y_2O_3 : Tb^{3+}$ выявил сложную картину мультиполосной люминесценции, обусловленной взаимодействием кристаллического поля решетки Y_2O_3 и возбужденных состояний основного мультиплета иона Tb^{3+} . При фотовозбуждении на $\lambda_{возб} = 305\text{ нм}$ наблюдались четыре наиболее интенсивные группы линий: в сине-зеленой (479,2–506,2 нм); зеленой (537,0–563,4 нм); желто-оранжевой (577,9–599,3 нм) и оранжево-красной (614,8–636,7 нм) областях спектра излучения (рис. 3). Самый интенсивный пик принадлежит полосе 544 нм, обуслов-

ливающей визуально наблюдаемый зеленый цвет люминесценции. Рост интенсивности люминесценции в три раза (рис. 4) при обжиге образцов при высоких температурах на воздухе (при нагреве от 700 до 1100 °С) связан, скорее всего, с удалением с поверхности агрегатов адсорбированных газовых примесей (диссоциированных термолитом кислородосодержащих газов: N_2O , CO_2 , CO), формируемых в ходе горения, на поверхности пор в агломератах, а также гидроксильных групп, также оказывающих тушащее воздействие.

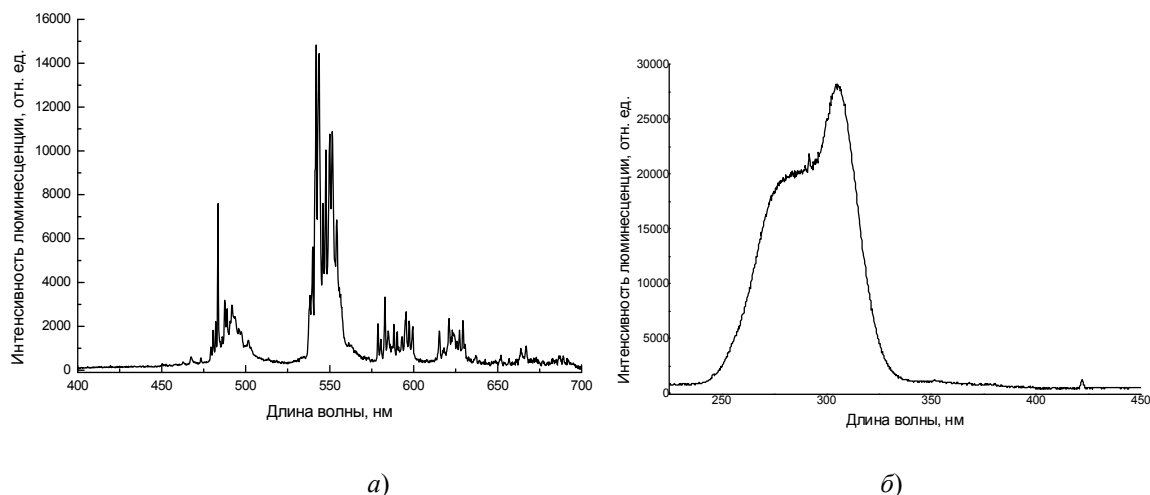


Рис. 3. Спектр возбуждения (а) и спектр люминесценции $Y_2O_3 : Tb^{3+}$ (б) образцов, полученных при горении в карбамиде и ГМТА при температуре 650 °С

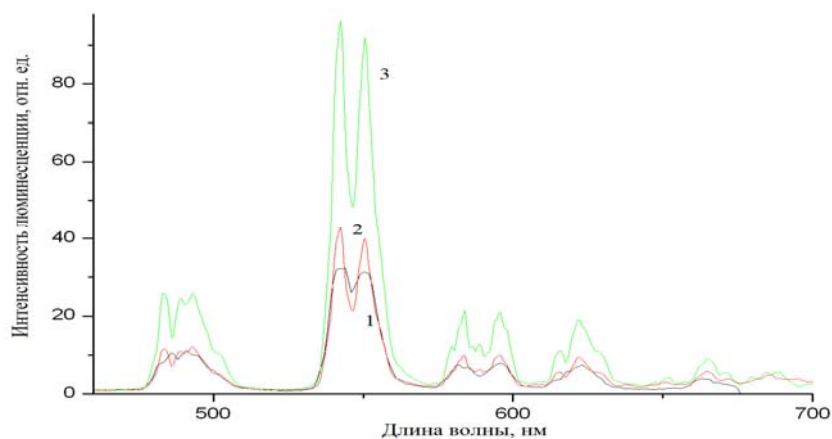


Рис. 4. Спектр люминесценции $Y_2O_3 : Tb^{3+}$ в зависимости от температуры прокаливания: 1 – 700 °С; 2 – 900 °С; 3 – 1100 °С

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Проведен термохимический синтез наноструктурированных порошков $Y_2O_3 : Tb^{3+}$ одностадийным методом в условиях окисления-восстановления азотно-кислых солей иттрия и тербия в присутствии смеси карбамида с ГМТА в качестве горючего для получения люминофора зеленого цвета излучения.

2. Измерение спектров фотолюминесценции выявило наиболее интенсивные группы линий в сине-зеленой ($\lambda = 479,2\text{--}506,2$ нм), зеленой ($\lambda = 537,0\text{--}563,4$ нм) областях спектра, обуславливающих визуальное наблюдение излучения зеленого цвета при возбуждении на длине волны 305 нм.

3. Полученные порошки $Y_2O_3 : Tb^{3+}$ могут быть использованы в цветных дисплеях различного типа.

Литература

1. Подденежный, Е. Н. Классификация способов получения ультрадисперсных оксидных порошков / Е. Н. Подденежный, А. А. Бойко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2003. – № 1. – С. 21–28.
2. Minh, L. Q. Luminescent nanomaterials / L. Q. Minh // Journal of Nanomaterials. – 2007. – Article ID 48312. – Mode of access: <http://www.hindawi.com/journals/jnm/2007/048312/abs/>. – Date of access: 07.08.12.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 16CRMNS5, УПРОЧНЕННЫХ ЦЕМЕНТАЦИЕЙ

Е. И. Кирщина, Е. П. Поздняков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Введение. Во многих случаях эксплуатационные свойства деталей машин и инструментальной оснастки зависят от механических свойств поверхностного слоя материала. Для их повышения используют различные способы упрочнения. Наиболее распространенными являются высокотемпературные процессы, связанные с регулированием структуры и свойств при помощи внедрения углерода в поверхностный слой детали, такие, как цементация и нитроцементация. Их применение направлено на получение высокой твердости и износостойкости поверхностного слоя сплавов при сохранении вязкой сердцевины. В качестве упрочняемых материалов традиционно используют низкоуглеродистые стали марок 18ХГТ, 12ХНЗА, 20Х, 20ХНЗА и др. В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» отлажена технология плавки новой марки стали 16CrMnS5 в соответствии с DIN EN 10084, экспортируемой в страны Европейского союза. Однако на территории Республики Беларусь, а также сопредельных ей государств она не получила широкого распространения. Это связано с низкой информативностью об ее механических и эксплуатационных свойствах. В работах [1], [2] приведены исследования цементованных и нитроцементованных слоев стали 16CrMnS5, сформированных в атмосферах низкого давления. Глубина слоя в данных случаях не превысила 0,8 мм. Технология получения диффузионного слоя в вакууме требует применения дорогостоящего оборудования и высокой квалификации специалистов и применяется в условиях массового и крупносерийного производств. Актуальной является задача исследования влияния структурных и фазовых составляющих на свойства цементованных слоев стали 16CrMnS5, полученных в твердых карбюризаторах.

Объекты и методики исследований. Объектами исследований являлись науглероженные слои стали 16CrMnS5. Цементацию проводили при температуре 920 °С в течение 8 и 12 ч в среде древесного угля модифицированного углекислыми барием. После химико-термической обработки (ХТО) проводили закалку в масле с температуры 860 °С и низкотемпературный отпуск при 200 °С в течение 1 ч. Для анализа

структуры одну из поверхностей кубических образцов размерами 20×20 мм шлифовали и полировали, травили в 3–5%-м спиртовом растворе азотной кислоты. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам РВ22. Послойную оценку изменения строения поверхностного слоя и его твердости проводили последовательным механическим удалением с исследуемой поверхности образца слоя материала толщиной около 0,2 мм. Обнаженную для исследований внутреннюю поверхность металла полировали и подвергали дюрометрическим испытаниям на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1471 Н. Общее количество исследованных слоев определяли по результату дюрометрических испытаний, отражающих достижение минимальной твердости не менее чем на трех последовательно исследованных внутренних слоях. Их признавали сердцевиной образца, не затронутой химико-термической обработкой.

Результаты исследований и их обсуждение. После проведения всех этапов термохимической обработки микроструктура цементованных образцов представляет собой мартенситно-аустенитную матрицу с карбидными включениями (рис. 1 и 2). При исследовании структуры выявлены различия в морфологии карбидной фазы по объему слоя, имеющего заэвтектоидное строение.

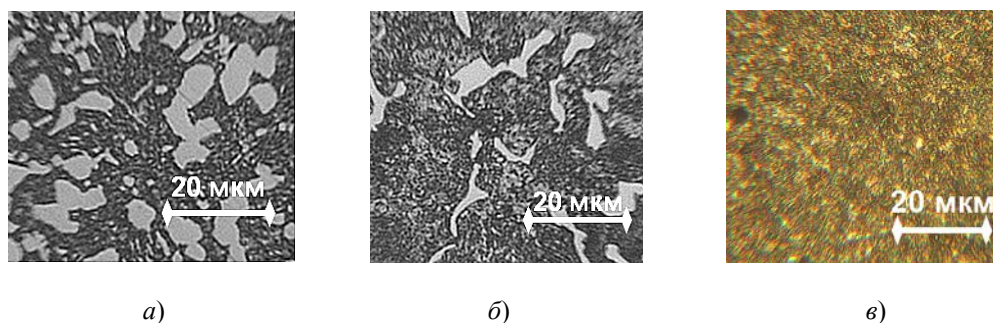


Рис. 1. Микроструктура стали 16CrMnS5, упрочненная посредством 8-часовой цементации, закалкой и отпуском: а – на поверхности слоя; б – на глубине 0,14 мм; в – на глубине 0,29 мм

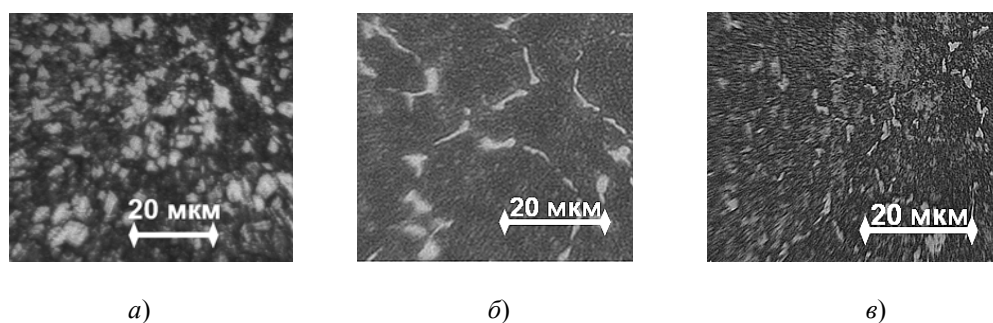


Рис. 2. Микроструктура стали 16CrMnS5, упрочненная посредством 12-часовой цементации, закалкой и отпуском, на расстоянии от поверхности: а – на поверхности; б – 0,14 мм; в – 0,46 мм

На поверхности образца, прошедшего 8-часовую цементацию, карбидная фаза представлена отдельными сферическими и овальными включениями (рис. 1, а). Их размер достигает 10×20 мкм. Среди них выявлены равномерно распределенные мелкодисперсные включения размерами в несколько микрометров. Карбидная фаза и

твердый раствор занимают близкие по величине объемы – 48,4 и 51,6 %, соответственно (см. таблицу). На глубине 0,14 мм от поверхности карбидная фаза располагается в окрестности аустенитно-мартенситного зерна, формируя разорванную цементитную сетку (рис. 1, б). Ее количество резко снижается до 14,4 %. Строение твердого раствора отличается заметными очагами ликвации остаточного аустенита, что в совокупности со снижением доли карбидной фазы служит причиной некоторого снижения твердости рассматриваемого слоя металла (рис. 3, а). Более глубокие слои (рис. 1, в) избавлены от структурно свободных карбидов, а их структура представлена мартенситом отпуска с присутствием небольшого количества остаточного аустенита.

Увеличение длительности ХТО до 12 ч привело к повышению объема карбидной фазы до 52,7 %, увеличив долю крупных включений глобулярной формы. Послойное исследование морфологии упрочненного слоя показало, что толщина заэвтектоидного слоя составляет не менее 0,5 мм. По мере удаления от поверхности, как и в случае исследования образцов, подвергнутых 8-часовому насыщению, форма структурно свободных включений во внутренних слоях напоминает разорванную цементитную сетку, толщина которой повышена за счет имплантации углерода. По мере удаления от поверхности секта утончается и дробится на отдельные мелкие зерна. Объемная доля карбидной фазы в подслое, располагающемся на глубине от 0,14 до 0,46 мм, достигает около 10 %. Структура сердцевины всех партий образцов представляет собой низкоуглеродистый отпущенный мартенсит с небольшим количеством феррита.

Удельная доля карбидной фазы в модифицированном слое стали 16CrMnS5

Длительность цементации, ч	Глубина исследуемого слоя, мм			
	0	0,14	0,29	0,46
8	48,4	14,4	–	–
12	52,7	9,5	8,8	10,2

Анализ кривых распределения твердости по сечению упрочненного слоя показал, что максимальное значение данного показателя – 65 HRC зарегистрировано на поверхности образцов и не зависит от длительности цементации (рис. 3). Общая глубина диффузионно-упрочненного слоя достигла около 1,5 мм, но в распределении имеются существенные различия. Для слоя, сформированного посредством 8-часовой цементации, характерно плавное снижение твердости от поверхности к сердцевине (рис. 3, а), величина которой составляет 35–37 HRC. Это значение получено для обеих длительностей насыщения. Увеличение ХТО до 12 ч способствовало образованию на поверхности материала площадки равной твердости (рис. 3, б). Глубина слоя твердостью выше 60 HRC составила не менее 0,7 мм. Сопоставление указанного показателя со структурой поверхностного слоя показывает, что площадка равной твердости в основном представлена металлом заэвтектоидного строения, в котором присутствуют карбиды цементитного строения. В то же время переходная зона, в которой структура металла избавлена от избыточных включений на глубине около 0,5–0,6 мм, соответствует по твердости наружному слою, увеличивая тем самым так называемую площадку равной твердости. Наличие такой площадки, как известно [3], является одним из условий повышения сопротивления металла контактной усталости.

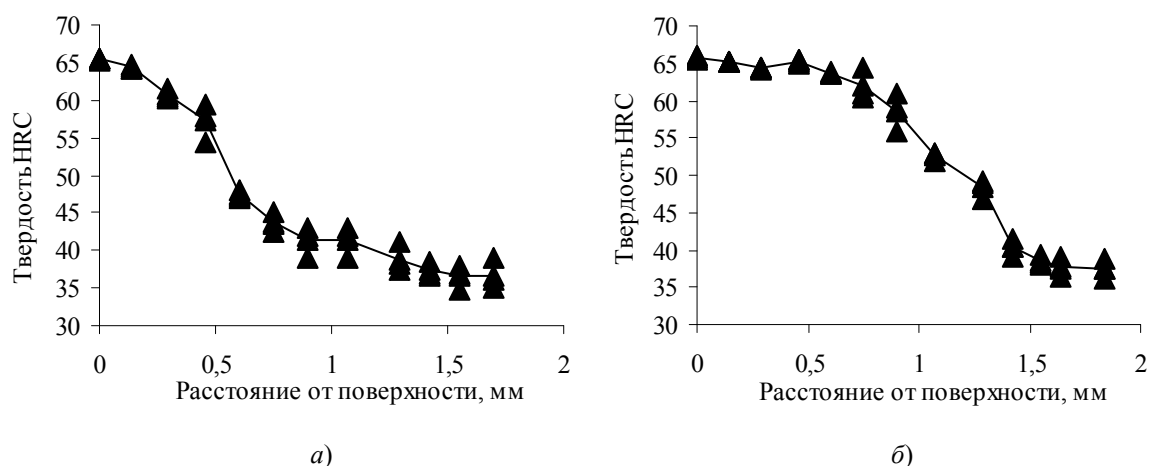


Рис. 3. Распределение твердости по сечению упрочненных слоев стали 16CrMnS5
 а – слой после 8-часовой ХТО; б – слой после 12-часовой ХТО

Заключение. Изучен процесс высокотемпературного насыщения углеродом стали 16CrMnS5. Выявлено, что при длительности насыщения 8 и 12 ч объемная доля карбидной фазы на поверхности составляет около 50 %. Однако толщина заэвтектоидной зоны значительно увеличивается с 0,2–0,3 до 0,5–0,6 мм. Установлено, что у образцов после 12-часового науглероживания образуется площадка равной твердости на глубину не менее 0,7 мм, что является признаком повышения контактной выносливости металла.

Литература

1. Влияние содержания остаточного аустенита и размера зерна на сопротивление усталости при изгибе стали, подвергнутой цементации в атмосферах низкого давления / П. Куля [и др.] // *Материаловедение и термическая обработка металлов.* – 2014. – № 8. – С. 40–43.
2. Термодинамические и экспериментальные исследования низколегированных сталей после нитроцементации в атмосферах низкого давления / Т. Моррэй [и др.] // *Материаловедение и термическая обработка металлов.* – 2014. – № 8. – С. 34–39.
3. Рыжов, Н. М. Технологическое обеспечение сопротивления контактной усталости цементуемых зубчатых колес из теплостойких сталей / Н. М. Рыжов // *Материаловедение и термическая обработка металлов.* – 2010. – № 6. – С. 39–45.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ НА ГРАДИЕНТ СВОЙСТВ И СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 42CRMOS4

Е. А. Парецкая, Е. П. Поздняков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Введение. Широкое применение среднеуглеродистых конструкционных сталей для изготовления деталей машин объясняется высоким комплексом эксплуатационных характеристик данных материалов. Их реальные показатели обусловлены степенью легирования сплава, что позволяет повлиять на свойства конечного изделия за счет применения оптимальных режимов термической обработки. Введение в состав сплава легирующих элементов и формирование таких марок сталей, как 40X, 40X2HMA, 35XГСА и других позволяет усилить свойства сплавов и адаптировать их

к определенному виду внешнего воздействия на материал. Большинство легирующих элементов, вводимых в состав конструкционных сталей, обладают более высоким сродством к углероду по сравнению с железом. Это усиливает тенденцию на образование в материале легированных карбидов. Поскольку адаптивное упрочнение материалов предполагает создание по сечению градиента свойств, одним из путей формирования поверхностно-модифицированного слоя может быть науглероживание. Применение цементации для улучшаемых сталей обосновано в работах [1] и [2], где показаны возможности замены высоколегированной инструментальной стали X12M сталью 35ХГСА при изготовлении деталей машин трения и мелкогабаритного штампового инструмента. Учитывая существенную роль карбидной фазы в процессах изнашивания науглероженных слоев при действии на них пульсирующих контактных нагрузок и при трении скольжения, в работе исследовано влияние режимов термохимической обработки на морфологию и распределение твердости по сечению науглероженных слоев в сплаве 42CrMoS4, легированном такими сильными карбидообразующими элементами, как хром и молибден.

Объектами исследований являлись науглероженные слои стали 42CrMoS4, выпускаемой ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в соответствии с EN DIN 10083. Цементацию проводили в среде древесного угля, модифицированного углекислыми бариерами при температуре 920 °С в течение 8 и 12 ч. После химико-термической обработки проводили закалку в масле с температуры 860 °С и отпуск при температуре 200 °С. Для анализа структуры одну из поверхностей кубических образцов размерами 20 × 20 мм шлифовали и полировали, травили 3–5%-м спиртовым раствором азотной кислоты. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам РВ22. Для оценки изменения строения поверхностного слоя и его твердости проводили механическое удаление с исследуемой поверхности образца слоя материала толщиной около 0,2 мм. Обнаженную внутреннюю поверхность металла полировали и подвергали дюрометрическим испытаниям на прессе Роквелла.

Результаты исследований и их обсуждение. В поверхностном слое образца стали 42CrMoS4, прошедшей 12-часовую цементацию и последующую закалку с низким отпуском, наблюдается преобладание карбидной фазы (77,3 %) над мартенситной структурой (см. таблицу). Карбиды имеют глобулярную форму и равномерно расположены в плоскости исследуемой поверхности. Заметны очаги срастания, приводящие к формированию достаточно крупных конгломератов с общими размерами до 18 мкм. Анализ структуры металла в подслое на глубине 0,14 мм показывает, что по мере углубления количество карбидной фазы уменьшается. Объем карбидной фазы составляет 23,3 %. Форма включений наследуется от их зародышей – межзеренных границ. Карбидные включения имеют вытянутую форму с произвольной ориентацией продольных осей в пространстве. На глубине 0,29 мм карбидная фаза представлена традиционной морфологией, отражающей структуру заэвтектидной стали. Тонкая сетка располагается в мартенситной матрице с отдельными крупными включениями; количество карбидной фазы составляет не более 19,7 %. В исследовании более глубокого слоя (0,46 мм от поверхности) отмечается дальнейшее уменьшение объема карбидной фазы до уровня 2,3 % с сохранением ее зернограницного расположения и малой толщины в поперечнике.

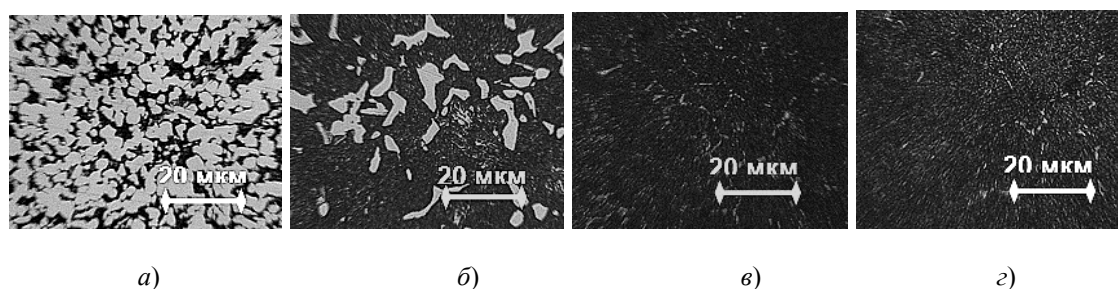


Рис. 1. Структура диффузионного слоя на поверхности (а); на глубине 0,14 мм (б); 0,29 мм (в) и 0,46 мм (г) в стали 42CrMoS4 после науглероживания в течение 12 ч и окончательной термообработки

Объемная доля карбидной фазы в модифицированных слоях стали 42CrMoS4, %

Длительность ХТО, ч	Глубина исследованного слоя, мм					
	0,00	0,14	0,29	0,46	0,6	0,75
12	77,3	23,3	19,7	2,3	–	–
8	37,3	17,6	15,1	4,4	–	–

Исследование модифицированного слоя образца, подвергнутого 8-часовой цементации показало существенные различия в строении основных фаз материала. В связи с уменьшением длительности ХТО на 33 % суммарные объемы мелких карбидов преимущественно пластинчатой формы и крупных глобулярных частиц с очагами срастания примерно одинаковы. В подслое, на глубине 0,14 мм структурное строение имеет большую схожесть с образцом, науглероживание которого продолжалось 12 ч, но общий объем карбидной фазы оказывается меньше, достигая всего 17,6 %. В слое, расположенном на глубине 0,29 мм, карбиды образуют ярко очерченную сетку вокруг зерен мартенсита. Их содержание составляет около 15,1 %. Внутреннюю границу заэвтектоидного слоя можно определить по анализу структуры на глубине 0,46 мм, в которой объем структурно свободных включений не превышает 4,4 %. Они имеют форму нечетко очерченной сетки в мартенситной матрице.

Анализ изменения твердости по сечению упрочненного слоя (рис. 3) показал, что ее величина на поверхности составляет около 66 HRC и остается таковой на протяжении слоя, имеющего заэвтектоидную структуру – до глубины 0,46 мм. Затем отмечено плавное снижение твердости до глубины 1 мм. Изменение твердости в переходной зоне на глубине 1–1,7 мм характеризуется скачкообразным снижением до значения 53–55 HRC, свойственного сердцевине металла. Особое внимание привлекает отклонение твердости, зарегистрированное на глубине около 0,3 мм в обоих исследованных случаях, что может являться следствием снижения объема твердой карбидной фазы в совокупности с существованием в этой области остаточного аустенита, который, как правило, образуется в науглероженных слоях при их закалке с повышенных температур. Его мелкозернистое строение обусловлено близкими по дисперсности кристаллами мартенсита (рис. 4, а), в то время как в переходной зоне и сердцевине отмечена более грубая структура с незначительным присутствием пакетного мартенсита без признаков остаточного аустенита (рис. 4, б).

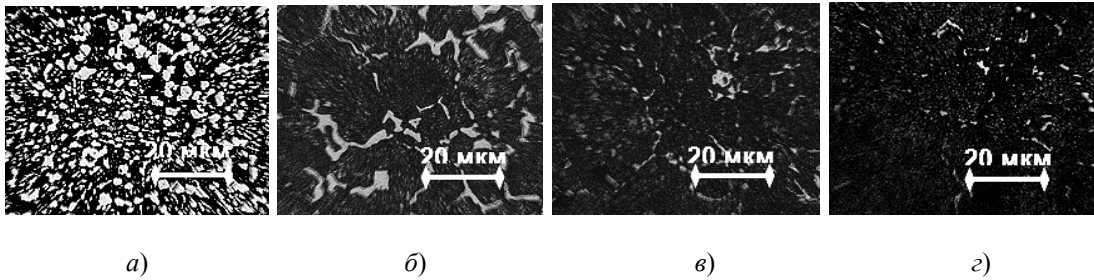


Рис. 2. Структура диффузионного слоя на поверхности (а); на глубине 0,14 мм (б); 0,29 мм (в) и 0,46 мм (з)

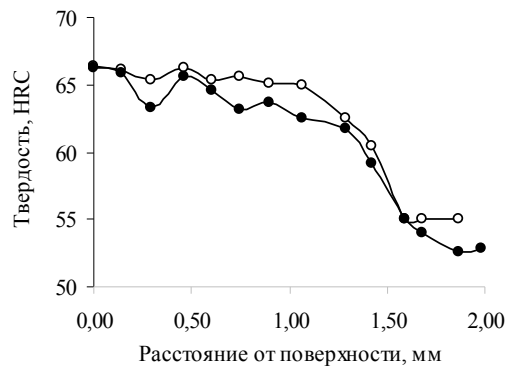


Рис. 3. Распределение твердости по сечению упрочненного слоя образцов стали 42CrMoS4 после всего комплекса упрочнения:
○ – 8-часовая цементация; ● – 12-часовая цементация

На глубине 1,87 мм твердость сердцевины образца с 8-часовой цементацией составляет 55 HRC, а образца, науглероженного в течение 12 ч, – около 53 HRC. Разницу в твердости сердцевины двух образцов, составляющую не более 5 %, вряд ли можно трактовать как существенное изменение свойств материала. Вероятнее всего, это является погрешностью измерений при проведении эксперимента.

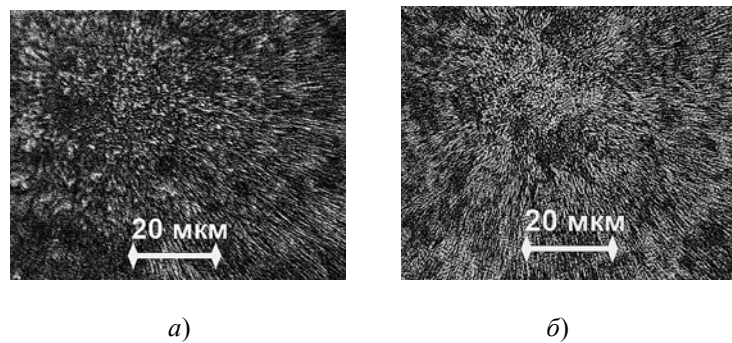


Рис. 4. Структура мартенсита на разных глубинах цементованного слоя:
а – на поверхности; б – на глубине 1,29 мм

Заключение. Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. В обоих исследованных образцах заэвтектоидная структура металла выявлена в поверхностном слое толщиной около 0,46 мм. По мере углубления карбиды меняют свою форму схожим образом, отличаясь лишь размером и количеством карбидной фазы.

2. Независимо от длительности химико-термической обработки структура твердого раствора поверхностного слоя, отличающегося твердостью свыше 62 HRC, характеризуется мелкодисперсным мартенситно-аустенитным строением. На глубине 1,29 мм приобретает игольчатую форму с отдельными «пакетами» игл без признаков присутствия остаточного аустенита.

3. Зависимость, отражающая изменение твердости по сечению металла в обоих случаях характеризуется очень размеренным и плавным, с разницей лишь в несколько единиц, снижением до глубины 1 мм. В переходной зоне наблюдается резкий градиент твердости, отражающий ее скачкообразное уменьшение с 62 до 53–55 HRC.

Литература

1. Степанкин, И. Н. Влияние структуры поверхностных слоев на характер взаимодействия пар трения, образованных сталями X12M, 40X и 35XГСА с бронзой БрАЖ9-4 / И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков, В. Г. Кудрицкий // Трение и износ. – 2016. – № 2, Т. 37. – С. 228–233.
2. Степанкин, И. Н. К вопросу изготовления мелкогабаритного штампового инструмента из экономнолегированных сталей с диффузионным упрочнением поверхностного слоя / И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2015. – № 9. – С. 25–32.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ СТАЛИ 18ХГТ

С. А. Савченко, Е. П. Поздняков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Введение. Цементуемые конструкционные стали широко применяются для изготовления различного рода деталей машин, если к их поверхностному слою предъявляются высокие требования по износостойчивости. Большой класс деталей, упрочняемых цементацией, в процессе своей эксплуатации испытывает воздействие на рабочую поверхность пульсирующих контактных напряжений – это зубчатые колеса и шестерни, кулачковые валы, нажимные ролики и др. Учитывая специфику разрушения поверхностного слоя, актуальными являются исследования, позволяющие выявить режимы формирования модифицированной поверхности, свойства которой будут адаптированы к воздействию контактных напряжений. Выявленное значение твердости поверхностного слоя позволяет осуществить количественную оценку величины предела контактной выносливости [1]. Но, как показывают дополнительные исследования, одним из важнейших достижений в рассматриваемом аспекте является формирование площадки равной твердости в рабочем слое детали [2]. Очевидно, что управление распределением твердости может быть осуществлено путем изменения длительности химико-термической обработки (ХТО), однако при этом, как правило, следует обратить внимание на изменение структуры слоя, в первую очередь, карбидной фазы.

Объектами исследований являлись науглероженные слои стали 18ХГТ, выпускаемой ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». ХТО проводили в среде древесного угля модифицированного углекислыми бариерами при температуре 920 °С в течение 8 и 12 ч. По окончании обработки ящики с образцами охлаждали в печи. После ХТО образцы закаливали в масле с температуры 860 °С и проводили отпуск при температуре 200 °С. Для анализа структуры одну из поверхностей кубиче-

ских образцов размерами 20×20 мм шлифовали и полировали, травили 3–5%-м спиртовым раствором азотной кислоты. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам РВ22. Оценку изменения строения поверхностного слоя и его твердости проводили механическим удалением с исследуемой поверхности образца слоя материала толщиной около 0,15–0,2 мм. Обнаженную внутреннюю поверхность металла полировали и подвергали дюрометрическим испытаниям на прессе Роквелла. Перечисленные действия по механическому удалению внешнего слоя металла и исследование поверхности повторяли до тех пор, пока минимальное значение твердости, соответствующее сердцевине металла образца, после трехкратного удаления слоя толщиной 0,2 мм оставалось неизменным.

Результаты исследований и их обсуждение. После закалки микроструктура цементованных образцов представлена мартенситом отпуска и карбидной фазой. Основным морфологическим отличием совокупности включений наружного слоя является присутствие различных по форме карбидов: игольчатых, пластинчатых, а также овальных. При длительности ХТО 8 ч далеко не все частицы в результате коагуляции приобретают округлые очертания. Около половины от всего их объема имеют форму, близкую к пластинчатой (рис. 1, а). Размеры наиболее крупных овальных карбидов на поверхности составляют до 14 мкм в диаметре, а на глубине 0,2 мм они преимущественно пластинчатые длиной до 13 мкм. Применение метода секущих позволило убедиться, что суммарная доля карбидной фазы достигает 36 % и уменьшается при удалении от поверхностного слоя на 0,2 мм до 20 % (см. таблицу). На указанной глубине карбидная фаза представлена выраженной скелетообразной сеткой, выявляющей границы между зернами твердого раствора. Его однородное травление (рис. 1, б) свидетельствует о незначительном количестве остаточного аустенита. В пользу указанного предположения свидетельствует анализ распределения микротвердости, отражающей неизменно высокую величину, – 60,6 HRC в наружном слое толщиной до 0,3 мм (рис. 3, а). Площадка равной твердости характеризуется практически одинаковыми значениями исследуемого параметра заэвтектидной зоны модифицированного слоя.

Строение более глубоких слоев сформировано без структурно свободных карбидов, что объясняется постепенным снижением концентрации углерода. Размеры зоны его переменного распределения можно оценить по глубине переходной зоны, которая располагается на расстояниях 0,3–0,9 мм от поверхности. Твердость металла плавно снижается до 43 HRC. Структура переходной зоны представляет собой мелкоигольчатый мартенсит преимущественно зернистого строения, в то время как в сердцевине преобладают пластинчатые формирования, напоминающие трооститную матрицу с отдельными включениями из ферритных кристаллов, которые сохранились в результате недостаточно высокой для сердцевины температуры закалки (рис. 1, в, г).

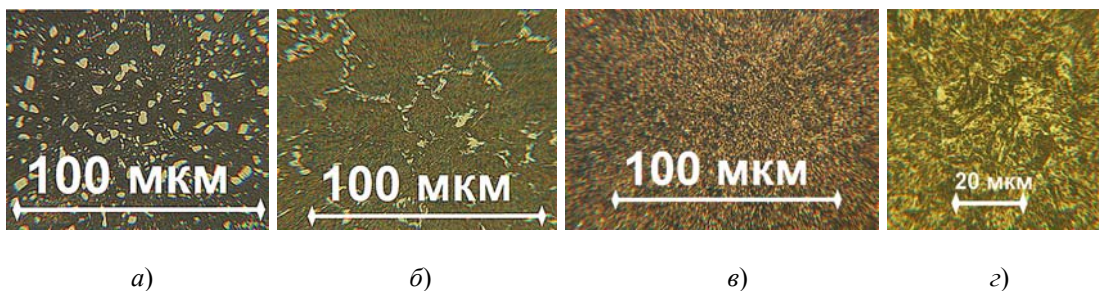


Рис. 1. Микроструктура упрочненного слоя после 8-часовой цементации и последующей термической обработки: а – на поверхности; б – на глубине 0,14 мм; в – на глубине 0,9 мм; г – сердцевины

Объемная доля структурно-свободных карбидных включений на различной глубине модифицированного слоя стали 18ХГТ, %

Длительность ХТО, ч	Глубина расположения исследованной поверхности образца, мм			
	0	0,14	0,29	0,46
8	36	20	–	–
12	43	20	8	–

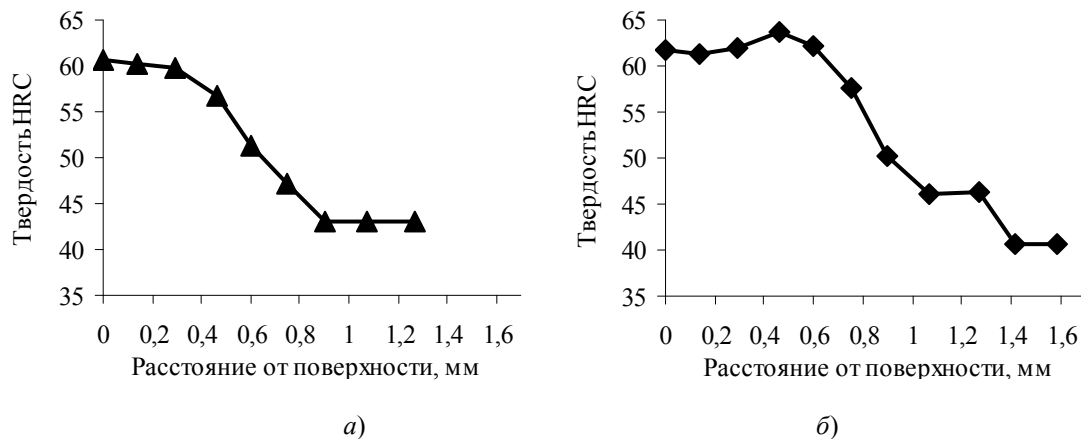


Рис. 2. Распределение твердости, HRC, по сечению науглероженных слоев стали 18ХГТ после 8-часовой (а) и 12-часовой (б) цементации, закалки и отпуска

Изменение длительности ХТО до 12 ч приводит к увеличению общей глубины слоя повышенной твердости до 1,42 мм. Несколько возрастает толщина заэвтектоидной зоны. Ее твердость на глубине 0,14 мм несколько ниже, чем на поверхности и в подслое на расстоянии 0,46 мм. В отмеченных зонах структура металла отличается своим строением. Поверхностный слой содержит около 43 % карбидных включений, форма которых определена, в первую очередь, процессами коагуляции. Срастание отдельных более мелких включений в единый конгломерат привело к появлению многочисленных образований с выраженной несимметричной формой (рис. 3, а). Их максимальный размер достигает 20 мкм. Вместе с ними присутствуют пластинчатые практически остроконечные включения, длина которых достигает 10 мкм. Отмеченная структура практически не имеет очагов слабо травящегося твердого раствора, не позволяя тем самым выявить присутствие на поверхности остаточного аустенита.

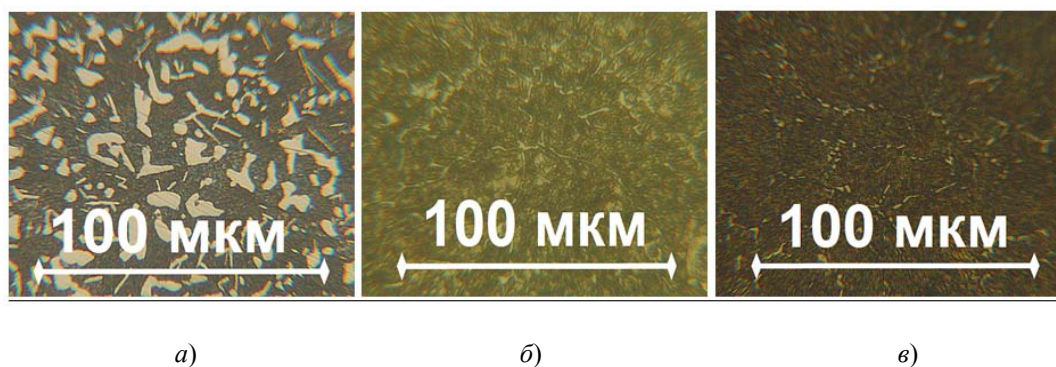


Рис. 3. Микроструктура упрочненного слоя после 12-часовой цементации и последующей термической обработки: а – на поверхности слоя; б – на глубине 0,14 мм; в – на глубине 0,29 мм

В более глубоких слоях металла на расстоянии 0,14 и 0,29 мм (рис. 3, б, в) являются очаги остаточного аустенита который, по-видимому, ответственен за некоторое снижение твердости металла. Карбидная фаза представлена зернограничной сеткой, объемная доля включений убывает по мере углубления (см. таблицу).

Заключение. Отмеченные отличия в строении науглероженных слоев стали 18ХГТ показывают, что ХТО, проводимая в течение 12 ч позволяет сформировать структуру с благоприятным распределением твердости, а также фазовым составом, способным обеспечить материалу удовлетворительное сопротивление процессам контактной усталости. Протяженная область повышенной твердости свыше 50 HRC глубиной не менее 0,9 мм, а также присутствие в подслое остаточного аустенита способны создать условия для приработки поверхности зубчатых колес и шестерен, а также других деталей, испытывающих воздействие пульсирующих контактных нагрузок и их длительной последующей эксплуатации.

Более короткую по длительности цементацию, обеспечивающую снижение энергетических затрат на модификацию поверхности стали 18ХГТ рационально применять для упрочнения деталей машин, работающих в условиях трения скольжения без значительного воздействия максимальных по амплитуде пульсирующих контактных напряжений.

Литература

1. ГОСТ 21354–87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления.
2. Рыжов, Н. М. Технологическое обеспечение сопротивления контактной усталости цементуемых зубчатых колес из теплостойких сталей / Н. М. Рыжов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2010. – № 6. – С. 39–45.

ВЛИЯНИЕ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА КОНТАКТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ У8А

И. С. Плешкунов, Е. П. Поздняков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Введение. При выборе металлических материалов, применяемых для изготовления деталей машин и инструмента, необходимо руководствоваться рядом требований [1]. В случае изготовления штамповой оснастки, работающей в условиях нагрузок свыше 1000 МПа, наиболее часто применяют средне- и высоколегированные инструментальные материалы, такие, как Х6ВФ, Х6Ф4М, Х12М, Р6М5 и др. Их недостаток – гетерофазное строение сплава, в котором присутствуют достаточно крупные карбидные включения. Они являются источником формирования трещин контактной усталости на их границе с металлической матрицей уже при первых соприкосновениях с заготовкой. Образование трещин также происходит на стадии формирования гравюры инструмента методом пластического деформирования. Высокая хрупкость карбидов приводит к их растрескиванию. В дальнейшем рост трещины продолжается из тела карбида в матрицу материала. Немаловажным является и высокая стоимость высоколегированных инструментальных сталей. В условиях контактных нагрузок, характерных для условий работы формообразующего инструмента при изготовлении метизов, удовлетворительную стойкость показала инструментальная углеродистая сталь У8А [2]. Следует отметить, что присутствие остаточного аустенита в структуре инст-

рументальных материалов оказывает значительное влияние на стойкость инструмента. Целью данной работы является влияние криогенной обработки на структуру и свойства углеродистой инструментальной стали У8А.

Объекты и методы исследований. Объектом исследований являлась углеродистая инструментальная сталь У8А. Ее термическая обработка проводилась по стандартным режимам. Партии образцов подвергались закалке с температуры 780 °С с охлаждением в воде и последующим низкотемпературным отпуском при 200 °С в течение 1 ч. Для определения влияния остаточного аустенита на структуру и свойства сталей вторая партия образцов подвергалась криогенной обработке после закалки, посредством выдержки в жидком азоте. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [3]. Данная установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового контртела. Регистрация значений износа заканчивалась при достижении глубины лунки износа 0,6 мм, или 30 000 циклов нагружения. Испытания проводились при амплитуде контактного нагружения 1340 МПа. Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22 при увеличениях 35–700 крат. ДюрOMETрические характеристики определяли на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1471 Н.

Результаты исследования и их обсуждение. Микроструктура всех партий образцов из стали У8А представляет собой эвтектоидное строение – мартенсит отпуска с присутствием остаточного аустенита (рис. 1). Его доля после криогенной закалки снижается с 4–8 до 1–6 % [4]. Соответственно, его изменение отразилось на твердости материала, которая возросла с 57–58 до 61,5–62 HRC.

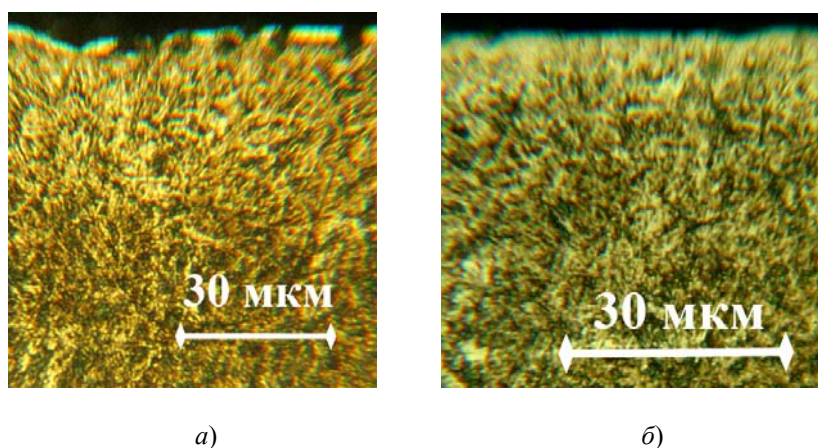


Рис. 1. Микроструктура стали У8А:
а – образцы, подвергнутые стандартной термической обработке; б – образцы, прошедшие дополнительную криогенную обработку после закалки

Испытания образцов без криогенной обработки на контактную усталость, показали, что кривая контактного изнашивания имеет 2 участка (рис. 2). На первом этапе происходит приработка контактирующих поверхностей образцов (рис. 3, а) с дисковым контртелом. Длительность этапа составила около 2 000 циклов нагружения. При этом глубина лунки износа не превысила значение 0,05 мм. Вторым этапом, характеризующимся прецизионной стойкостью упрочненного материала, составил 30 000 цик-

лов нагружения. Глубина лунки износа материала достигла значения 0,10 мм. Механизм изнашивания сопровождается протеканием процесса наклепа в околосконтактной области лунки износа с последующим удалением тонких чешуек материала (рис. 3, б).

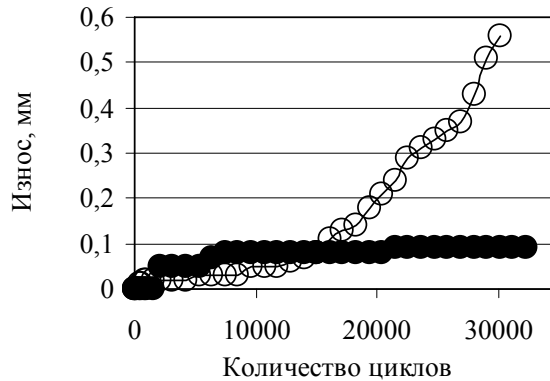


Рис. 2. Кривые, отражающие характер повреждения образцов в процессе контактного нагружения при нагрузке 1340 МПа:

- – образцы, подвергнутые стандартной термической обработке; ○ – образцы, прошедшие дополнительную криогенную обработку после закалки

Проведение криогенной обработки оказало существенное влияние на характеристики контактного изнашивания стали У8А. Кривая износа имеет классический вид [5], характеризующийся появлением третьего этапа, – катастрофического износа материала. Приработка контактирующих поверхностей образцов с контртелом происходит интенсивнее, чем образцов, не подвергнутых криогенной обработке. Длительность первого этапа не превышает 1000 циклов. Продолжительность второго этапа, на котором глубина лунки износа не превысила 0,05 мм, составила 12 000 циклов нагружения. Охлаждение в жидком азоте привело к снижению количества остаточного аустенита, который повышает пластичность сплава. В итоге процесс изнашивания интенсифицировался в результате увеличения хрупкости металлической матрицы. На данном этапе материал претерпевает наклеп с зарождением дефектов в очаге околосконтактной зоны в виде трещин (рис. 4, а, б). На третьем этапе в результате предельного накопления структурных дефектов происходит интенсивное разрушение материала образцов с появлением питтингов (рис. 4, в). Их образование сопровождается ускоренным удалением с контактной поверхности образцов поврежденных объемов материала.

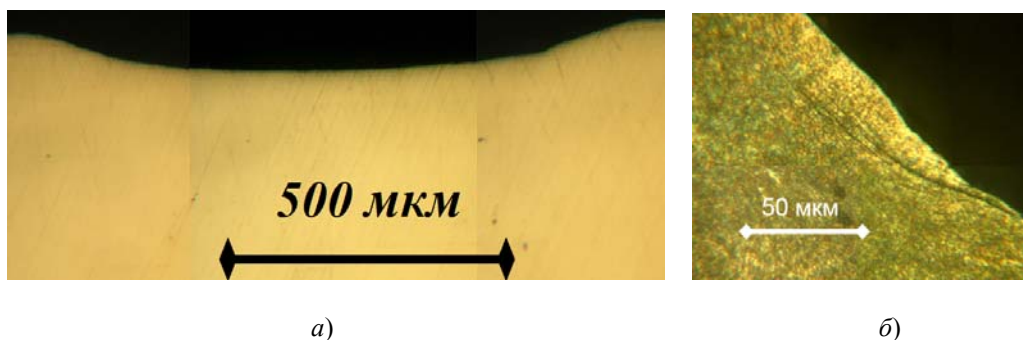


Рис. 3. Разрушение образцов из стали У8А, не подвергнутых криогенной обработке: а – 200 циклов; б – 30000 циклов

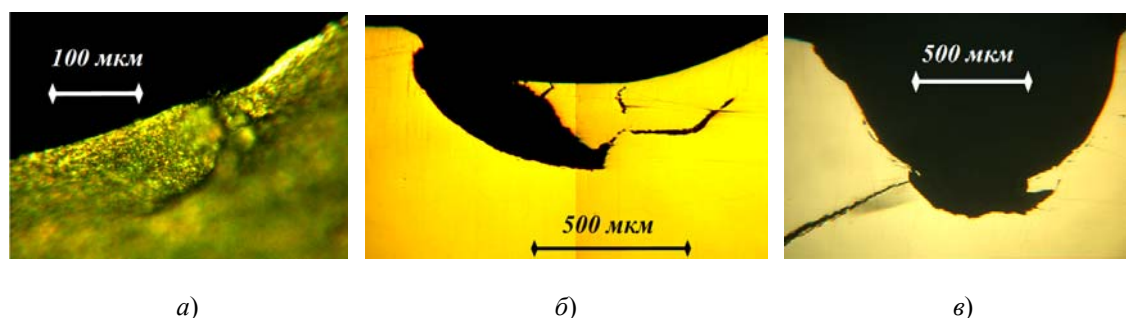


Рис. 4. Разрушение образцов из стали У8А, подвергнутых криогенной обработке:
а – 1500 циклов; б – 10000 циклов; в – 30000 циклов

Заключение. Изучен механизм разрушения материала экспериментальных образцов из инструментальной стали У8А при амплитуде контактного нагружения 1340 МПа. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наибольшей стойкостью в условиях контактного изнашивания обладают образцы из стали У8А, не подвергнутые криогенной обработке. Ее применение после закалки интенсифицирует процесс изнашивания инструментальной стали У8А.

Литература

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение : учеб. для машиностр. вузов* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 493 с.
2. Степанкин, И. Н. Контактное изнашивание инструментальных сталей Х12М, 9ХС и У8А / И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков // *Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого*. – 2015. – № 3. – С. 19–24.
3. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : полезная модель 7093 U Респ. Беларусь, МПК G 01N 3/00 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов ; опубл. 28.02.2011.
4. Геллер, Ю. А. *Инструментальные стали : справочник* / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
5. Карелин, Е. Н. Закономерности изнашивания зубьев зубчатых передач / Е. Н. Карелин, М. Э. Никифоров, А. В. Тигин // *Успехи современного естествознания*. – 2012. – № 6. – С. 75–76.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КОНТАКТНОГО ИЗНАШИВАНИЯ НИТРОЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ Р6М5 ПОСЛЕ ИХ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ

Ю. Н. Пешкун

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Е. П. Поздняков

Введение. Лазерная обработка быстрорежущих сталей, являясь одним из способов улучшения работоспособности инструмента, требует тщательной отработки режимов для получения заданных свойств и структуры поверхностного слоя. Это связано с усилением легирования твердого раствора, которое способствует стабилизации аустенитной фазы. Увеличение доли метастабильной γ -фазы, с одной стороны, позволяет повысить вязкость материала, с другой – снижает твердость и увеличивает склонность к динамическому старению, что зачастую приводит к интенсивному зарождению внутренних дефектов, ухудшающих свойства поверхностного слоя. Отмеченные особенности делают актуальными исследования эксплуатационных характеристик модифициро-

ванных слоев быстрорежущих сталей после лазерной обработки, а также других операций, способных адаптировать окончательную структуру к внешнему воздействию.

Объекты и методы исследований. Объектом исследований являлись поверхностные слои инструментальной быстрорежущей стали Р6М5. Упрочнение образцов проводили в два этапа. На первом этапе предварительно закаленные образцы подвергали низкотемпературной нитроцементации в древесном угле с добавлением карбамида. Длительность процесса составляла 8 ч при температуре 560 °С. На втором этапе поверхностный слой модифицировали лазерным излучением. Применяли иттербиевый лазер с длиной волны излучения 1070 нм. Мощность излучения при обработке всех экспериментальных образцов составляла 1,3 кВт. В поперечном направлении сканирование лазерного пучка с частотой 220 Гц обеспечивало формирование зоны квазистационарного нагрева размером $0,7 \times 6$ мм. Продольное перемещение по обрабатываемой поверхности образцов производили машинным способом со скоростью от 900 до 1200 мм/мин с шагом 150 мм/мин. После лазерной обработки все исследуемые образцы подвергали однократному отпуску при температуре 560 °С. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое образцов при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [2]. Данная установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового контртела. Испытания образцов проводились при амплитуде контактного нагружения 1230 МПа. Исследования микроструктуры осуществляли на оптическом микроскопе Метам РВ-22.

Результаты исследования и их обсуждение. На поверхности всех партий образцов сформирована диффузионная зона, представляющая собой азотистый аустенит с присутствием γ' -фазы (рис. 1). Ее глубина не зависит от изменения скорости поперечного сканирования и составляет около 50 мкм. При увеличении скорости в поверхностной зоне возрастают линии скольжения (рис. 1, в), что, вероятнее всего, означает старение аустенита. В данной зоне присутствуют нерастворенные первичные карбиды. У образцов, полученных при наименьшей скорости перемещения лазера (900 мм/мин), обнаружена переходная зона, распространяющаяся на глубину до 200 мкм (рис. 1, а). Ее морфологическое строение представлено азотистым мартенситом, γ' -фазой и первичными карбидными включениями. У остальных партий образцов данной зоны оптически не обнаружено (рис. 1, а, б).

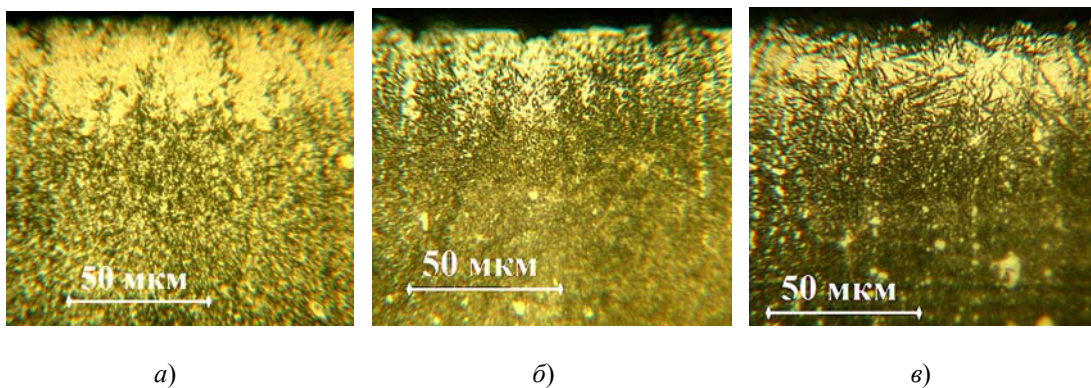


Рис. 1. Структура нитроцементованных слоев образцов стали Р6М5, подвергнутых лазерному воздействию и отпуску:
 а – скорость сканирования 900 мм/мин; б – скорость сканирования 1050 мм/мин;
 в – скорость сканирования 1020 мм/мин

Изучение графиков распределения микротвердости диффузионно-упрочненных слоев (рис. 2) показало, что их глубина значительно превышает видимые структурные изменения, обнаруженные при травлении. При скорости сканирования 900 мм/мин градиент микротвердости имеет плавный переход от поверхности к сердцевине, твердость которой составляет 7000–7200 МПа. На поверхности данный показатель достигает 9500 МПа. Общая глубина модифицированного слоя равна 700 мкм.

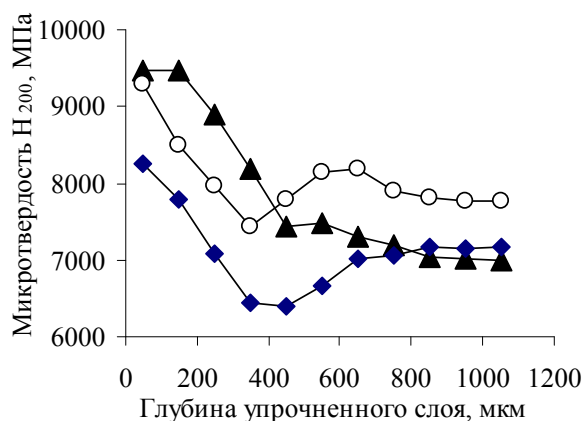


Рис. 2. Микротвердость упрочненных слоев стали Р6М5:

▲ – скорость сканирования 900 мм/мин; ◆ – скорость сканирования 1050 мм/мин;

○ – скорость сканирования 1200 мм/мин

При увеличении скорости сканирования на графиках распределения микротвердости происходит образование новых зон. Так, у образцов, модифицированных при перемещении лазера со скоростью 1050 мм/мин, отмечено снижение микротвердости диффузионно-упрочненного слоя с формированием двух зон. Поверхностная твердость образцов оказалась равной 8200 МПа. За ней, на глубине 200–700 мкм, находится зона пониженной твердости, минимальное значение которой составило 6500 МПа. У сердцевины этот показатель находится на уровне 7000 МПа. Для слоев, сформированных при скорости 1200 мм/мин, характерно наличие трех зон. Твердость поверхности достигает 9200 МПа с дальнейшим плавным снижением до 7500 МПа, отмеченной на глубине 400 мкм. На глубине 400–800 мкм формируется зона твердости, имеющей повышенное значение по отношению к сердцевине. Это связано с дисперсионным твердением высоколегированного сплава. Его максимальное значение достигает 8000 МПа при твердости сердцевины 7500 МПа.

Кривые контактного изнашивания всех партий образцов, полученные при амплитуде 1230 МПа, имеют 3 этапа, характерные при усталостном изнашивании материалов. На первом этапе контактирующие поверхности образцов прирабатываются с дисковым контртелом. Во всех исследованных случаях его длительность не превысила 1000 циклов нагружения. За ним отмечена прецизионная стойкость слоев. Нарботка составила 10–12 тыс. циклов нагружения. При этом глубина лунки износа достигла 0,02–0,06 мм. Ее максимальное значение зарегистрировано у слоев, сформированных на образцах при скорости 1050 мм/мин. На данном этапе происходит структурное изменение слоя материала, находящегося в непосредственной близости к контактирующей поверхности образующейся лунки. Этот процесс сопровождается наклепом сплава, зарождением и ростом трещин контактной усталости. При достижении свыше 10 тыс. циклов нагружения трещины объединяются, образуя питтинги.

Удаление крупных объемов металла интенсифицирует процесс изнашивания, что отображается на кривых износа резким перепадом. Максимальная стойкость всех слоев, около 30 тысяч циклов, отмечена глубиной лунки износа на уровне 0,5 мм.

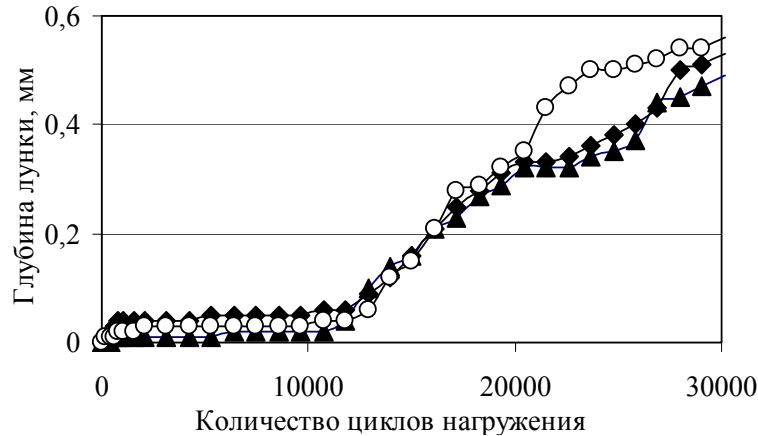


Рис. 3. Кривые, отражающие изнашивание слоев в процессе контактного нагружения при нагрузке 1230 МПа:

▲ — скорость сканирования 900 мм/мин; ◆ — скорость сканирования 1050 мм/мин;
○ — скорость сканирования 1200 мм/мин

Заключение. Изучено влияние лазерного воздействия на структурные превращения и свойства нитроцементованных слоев стали Р6М5. Выявлено, что получение преимущественно мартенситной структуры твердого раствора композиционного материала способствует формированию периода прецизионной стойкости не менее 11 тыс. циклов при нагружении материала пульсирующим контактным напряжением 1230 МПа. Отмеченный эффект обеспечивает возможность применения исследованных режимов высокоэнергетического воздействия на нитроцементованный слой стали Р6М5 с целью повышения износоусталостных характеристик широкого спектра инструментов, изготавливаемых из быстрорежущих сталей и применяемых в инструментальной промышленности.

Литература

1. Влияние лазерной модификации на эксплуатационные характеристики стали Р6М5 / И. Н. Степанкин [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. — 2015. — № 1. — С. 19–26.
2. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : полезная модель 7093 U Респ. Беларусь, МПК G 01N 3/00 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов ; опубл. 28.02.2011.

ПРОГНОЗ РИСКА АВАРИИ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

А. А. Майоров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Л. Н. Русая, Ю. В. Морозова

Двигаясь по пути технического прогресса, человек подвергает себя все большему риску. Растет мощность промышленных установок, усложняются технологии,

возрастает влияние предприятий друг на друга, работа оборудования все больше зависит от правильности действий персонала, управляющего им. Литейное и металлургическое производство – часть техносферы, где были и остаются источники опасности. В соответствии с Законом Республики Беларусь «О промышленной безопасности», объекты, на которых получают, транспортируются, используются расплавы черных и (или) цветных металлов и сплавы на основе этих расплавов, являются опасными производственными объектами (ОПО).

Авария – разрушение опасных производственных объектов и (или) потенциально опасных объектов, в том числе эксплуатируемых на опасном производственном объекте; неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Анализ риска аварии – процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии на ОПО для отдельных лиц или групп людей, имущества или окружающей среды.

Идентификация опасностей аварии – процесс выявления и признания, что опасности аварии на ОПО существуют, и определения их характеристик.

Основной причиной несчастных случаев являются нарушение технологических процессов, недостатки в организации и осуществлении производственного контроля, низкий уровень трудовой, производственной дисциплины и организации работ, личная неосторожность пострадавших.

Для организации безопасной работы оборудования и агрегатов на литейном и металлургическом предприятии существует система управления промышленной безопасностью, обеспечивающая выполнение ряда организационных и технических мероприятий, направленных на своевременное выполнение требований промышленной безопасности, мониторинг технического состояния оборудования и агрегатов и снижение риска возникновения аварий.

Одна из составляющих системы управления промышленной безопасностью предприятия – анализ риска аварий, включающий идентификацию опасных веществ и оценку риска аварий для людей, имущества и окружающей среды.

Общая последовательность количественной оценки риска приводится в виде блок-схемы, которая представляет собой алгоритмическую модель оценки частоты и тяжести последствий аварии на ОПО, каждая итерация которой включает не менее 21 шага. Рассматривая поэтапно схему, можно отметить, что непосредственными источниками опасности ОПО литейного и металлургического производства являются плавильные агрегаты, разливные ковши.

По результатам рассмотрения 32 инцидентов, основными причинами выброса расплава являются: взрывы (81 % всех инцидентов); бурное протекание химических реакций в агрегате (16 %); 35 % от числа взрывов произошло из-за загрузки в агрегат взрывоопасных веществ (воды, масла, взрывчатых веществ, неустановленных взрывоопасных предметов); 46 % взрывов произошло вследствие попадания в расплав воды из системы охлаждения; 11 % взрывов произошло из-за взаимодействия металла с влагой, содержащейся в футеровке агрегата (ковша, в который сливается металл или желоба, по которому он сливается); 8 % взрывов произошло из-за взаимодействия расплава с водой, находящейся на полу цеха.

Для выявления сценариев нежелательного высвобождения энергозапаса используют как эмпирические данные, так и результаты моделирования. В качестве моделей применяют «дерево отказов» и «дерево событий» (для шагов 10–12 блок-схемы).

На рис. 1 представлена разработанная нами простая модель «дерева отказов» для возможного случая выброса жидкого металла из индукционной плавильной установки.

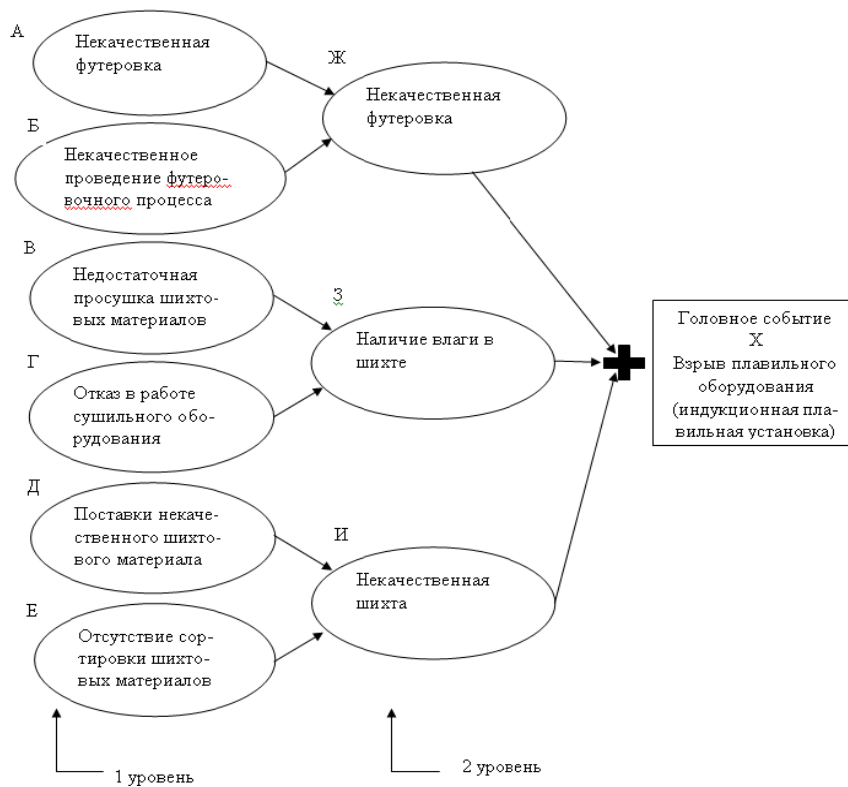


Рис. 1. Простая модель «дерева отказов» для возможного случая выброса жидкого металла из индукционной плавильной установки

Для определения исходных предпосылок и промежуточных событий при аварии при взрыве плавильного оборудования применялся метод Дельфи, при котором каждый из многочисленных сценариев возникновения аварийной ситуации в течение заданного интервала времени эксперты характеризуют одной из трех градаций оценочной шкалы с соответствующими интервальными значениями вероятности осуществления данной ситуации:

1. Представляется возможным, может считаться предвидимым в разумных пределах (reasonably foreseeable): вероятность $Q > 10^{-2}$.
2. «Очень неправдоподобен» (very unlikely): $10^{-4} < Q < 10^{-2}$.
3. «В высшей степени неправдоподобен» (extremely unlikely): $Q < 10^{-4}$.

Более детализированной является оценочная шкала, предложенная Хантером и представленная в табл. 1.

При моделировании условий, необходимых и достаточных для того чтобы произошёл взрыв печи, учтены 3 причины первого уровня Ж, З, И, каждая из которых вызвана двумя причинами – соответственно, (А, Б), (В, Г), (Д, Е), рассматриваемыми для отказа как исходного события.

Наименования и коды учитываемых исходных предпосылок и промежуточных событий, приведших к исследуемому происшествию, приведены в табл. 2.

Таблица 1

**Связь между количественными характеристиками возможности события
и значениями соответствующей вероятности (шкала Хантера)**

Качественная характеристика возможности события	Вероятность
Событие является достоверным или гипотезу о нем можно считать весьма правдоподобной	1
Событие не может считаться достоверным, но гипотеза о нем представляется правдоподобной	10^{-1}
Гипотеза о событии представляется неправдоподобной, однако ее нельзя исключить	10^{-2}
Событие, вероятно, не произойдет — судя по имеющимся данным, его надо считать невероятным, однако эти данные вызывают сомнение	10^{-3}
Данные о событии являются надежными, но гипотеза о том, что оно произойдет, весьма неправдоподобна	10^{-4}
Событие физически возможно, но оно почти наверняка не произойдет	10^{-5}
С учетом всех имеющихся данных, событие надо считать физически невозможным	10^{-6}

Таблица 2

Предпосылки взрыва в плавильной печи

Код	Наименование исходных и промежуточных событий	P_i
1	Некачественные футеровочные материалы	1
2	Некачественное проведение процесса футеровки (ТП)	10^{-6}
	Некачественная футеровка	—
3	Недостаточное просушивание шихтовых материалов	10^{-1}
4	Отказ в работе сушильного оборудования	10^{-2}
	Влага в шихте	—
5	Поставка некачественного шихтового материала (отсутствие сортировки, разделки)	10^{-1}
6	Отсутствие сортировки шихтовых материалов	10^{-2}
	Некачественные шихтовые материалы	—

Более точные выводы дает количественный анализ, проведенный с помощью такой структурной функции дерева отказов. Так, после подстановки вероятностей P_i в формулу, имеем:

$$\begin{aligned}
 Q(X) = & 1 - [(1 - P_1P_2)(1 - P_1P_3)(1 - P_1P_4)(1 - P_1P_5)(1 - P_1P_6) \times \\
 & \times (1 - P_2P_3)(1 - P_2P_4)(1 - P_2P_5)(1 - P_2P_6)(1 - P_3P_5)(1 - P_4P_6) \times \\
 & \times (1 - P_3P_6)(1 - P_5P_6)] = 0,7702567,
 \end{aligned}$$

где $Q(X)$ и P_i ($i=1-6$) – соответственно, вероятности рассматриваемых происшествий и предпосылок к ним – событий из табл. 1 и 2.

Так как вероятность $Q(X) > 10^{-2}$, то можно сделать вывод, что рассматриваемая ситуация представляется возможной и может считаться предвиденной.

Таким образом, можно просчитать развитие сценариев возможных ситуаций, их количественные характеристики, возможный ущерб материальных и людских ресурсов.

Без учета данных прогнозирования аварий на опасных производственных объектах нельзя планировать развитие территорий, принимать решения на строительстве промышленных объектов, разрабатывать планы по предупреждению и ликвидации возможных чрезвычайных ситуаций.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Л. Л. Шатило, Е. Г. Прахоцкий

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Б. Одарченко

Развитие энергетического комплекса Республики Беларусь и нефтехимической отрасли требуют увеличения добычи углеводородного сырья, что, в свою очередь, требует вложений в бурение разведочных и добывающих скважин. Нефтепромысловое оборудование в подавляющем большинстве в Республике Беларусь не производится и требует значительных валютных затрат. В ГГТУ им. П. О. Сухого ведутся исследования по разработке импортозамещающих технологий как для производства изделий для нефтегазового комплекса, так и восстановления и повышения их износостойкости.

Одно из таких направлений – разработка технологии получения высокотехнологичных изделий, получаемых методом литья. Технология отрабатывается на деталях для рабочего органа турбобура ТВ1-240 со следующими характеристиками: наружный диаметр – 240 мм; диаметр применяемых долот – 269,9–393,7; длина – 8,2 м; масса турбобура – 1760 кг; количество ступеней турбины – 132; расход – 50–65 л/с; частота вращения на холостом ходу – 901–1081 об/мин; частота вращения в рабочем режиме – 450–540 об/мин; момент силы в тормозном режиме – 3,22–4,63 кН·м; перепад давления на турбобуре – 3,5–5 МПа; максимальная мощность – 76–131 кВт.

Литые заготовки для деталей рабочей пары «статор» и «ротор» турбобура (рис. 1) изготавливаются из конструкционной легированной стали марки 40ХЛ, поскольку данные детали работают в условиях интенсивного абразивного износа в агрессивной кислой среде. Все поверхности детали, за исключением поверхностей лопаток турбин, получают механической обработкой литых поверхностей.

Для оценки работоспособности спроектированной 3D-модели и соответствия предполагаемых технических характеристик заводским производился численный расчет на тормозном режиме при следующих граничных условиях:

- рабочая жидкость – вода;
- расход жидкости – 50 л/с;
- противодавление – атмосферное.

Рассчитывалась одна ступень турбобура.

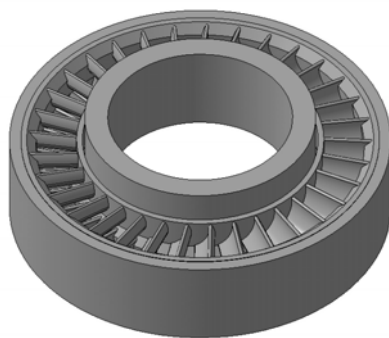


Рис. 1. 3D-модель ступени турбобура

В результате компьютерного моделирования получены следующие результаты. Перепад давления на 1-й ступени составляет 41526 Па. Известно, что перепад давления пропорционален количеству ступеней. Следовательно, перепад давления на всем турбобуре: $\Delta p = 41526 \cdot 132 = 5,5$ МПа. Момент, развиваемый одной лопаткой, $M_1 = 1,5$ Н · м. Момент, развиваемый на валу турбобура одной секцией, равен моменту, развиваемому одной лопаткой, умноженному на количество лопаток: $M_c = 1,5 \cdot 33 = 49,5$ Н · м. Чтобы вычислить момент на валу турбобура в собранной секции, нужно умножить на количество секций: $M = 49,5 \cdot 132 = 6,5$ кН · м.

Из полученных результатов видно, что погрешности вычислений перепада давления и развиваемого вращающего момента в сравнении с заводскими характеристиками для такого типа расчетов являются весьма приемлемыми, а полученная геометрия позволит выделить плоскости разъема полуформ.

Конструкция зоны лопаток характеризуется сложной конфигурацией тела отливки и криволинейными контурами лопасти. Минимальная толщина литых стенок турбины составляет от 2 до 3 мм в узких сечениях. На фоне этого, при переходах в цилиндрические части тела отливки, имеются утолщения в теле, которые являются термическими узлами, предопределяющими высокую вероятность образования усадочных дефектов, что крайне недопустимо. Поэтому для изготовления исследуемой отливки применяется дорогостоящая, ресурсо- и энергоемкая технология литья в керамические формы по выплавляемым моделям.

В студенческой научно-исследовательской лаборатории (СНИЛ) ГГТУ им. П. О. Сухова ведутся исследования по апробированию альтернативной технологии производства данного типа изделия с возможностью замены литья по выплавляемым моделям на более технологичный и рентабельный способ. В качестве альтернативой предложена технология формовки с применением химически твердеющих смесей с параллельным принудительным вакуумированием полости формы. Данные смеси обеспечивают сочетание высокой прочности и хорошей газопроводящей способности литейной формы, возможность обеспечения размерной точности и чистоты поверхности отливки. Вакуумирование полости формы обеспечивает качественное заполнение узких сечений, а также снижает вероятность образования газовых дефектов. Для данных технологических условий была разработана конструкция литниково-питающей системы и спроектирована технологическая оснастка. Проведено компьютерное моделирование условий и режимов заливки.

При разработке конструкции литниково-питающей системы и проектировании технологической оснастки назначена сложная плоскость разъема, проходящая по зоне полостей между лопатками статора и ротора турбобура, формирующая зубчатую поверхность схождения полуформ.

С помощью специализированных программных продуктов, позволяющих моделировать условия заполнения и кристаллизации литейной формы с выявлением возможностей и условий образования литейных дефектов (рис. 2), установлена предрасположенность технологии к образованию дефектов усадочного характера (раковины и пористость).

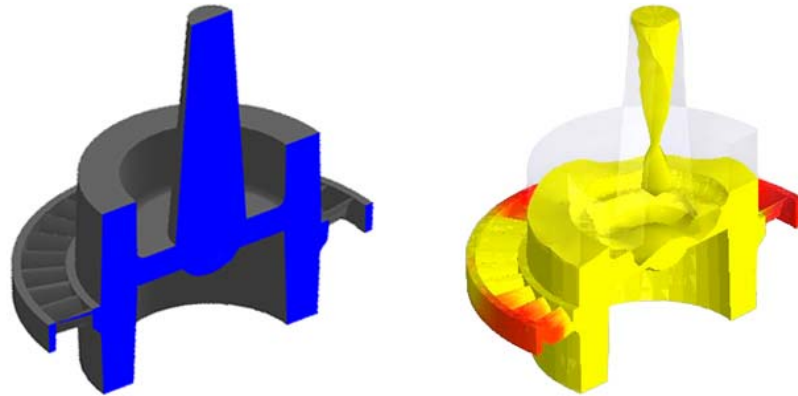


Рис. 2. Оптимальная конструкция литниково-питающей системы и результаты моделирования для отливки «Ротор»

Такое положение обусловлено обозначенной сложностью конструкции отливки, а также низкой жидкотекучестью и значительной усадкой сплава 40ХЛ.

В результате проведения оптимизации была спроектирована конструкция литейных моделей, позволяющая получать формы, обеспечивающие формирование качественной отливки. При этом для отливки «Ротор» (рис. 2) была применена литниково-питающая система с внутренним, по отношению к телу отливки, стояком и щелевым дисковым питателем. Для отливки «Статор» аналогичное расположение литниково-питающей системы не обеспечивало получение качественной литой заготовки, в связи с чем в конструкции модели были использованы приемы, запитывающие зону образования усадочных дефектов.

Разработанная САD-конструкция литейных моделей использовалась для их последующего изготовления методом 3D-печати. При этом в качестве материала использовался поликарбонатный пластик, обладающий высокой жесткостью и прочностью в сочетании с очень высокой стойкостью к ударным воздействиям, в том числе при повышенной и пониженной температуре. Имеет высокий коэффициент трения. В отличие от большинства термопластов поликарбонат может подвергаться большим пластическим деформациям без растрескивания или разрушения, что является преимуществом для его применения в области 3D-печати модельной оснастки.

Характеристики поликарбоната

Свойства материала	Значения
Предел прочности на разрыв	68 МПа
Удлинение при растяжении	4,8 %
Напряжение при изгибе	104 МПа
Диапазон температур длительной эксплуатации	от 100 до 115–130 °С
Выдержка кратковременного разогрева	до 153 °С

Для печати использовался 3D-принтер Pharaoh® XD30 с рабочей зоной печати $300 \times 300 \times 300$ мм. В качестве материала для экструдерного выращивания моделей использовалась поликарбонатная нить диаметром 1,75 мм. Для компенсации термической усадки пластика применялась опция нагрева рабочей платформы до 120°C и рабочая температура печати – 230°C . Обеспечение требуемой точности размеров моделей осуществлялось подбором диаметра сопла и шагом печати – 0,20 мм. Все эти параметры обеспечивали размерную и геометрическую точность с учетом усадки материала.

Метод 3D-печати был выбран, поскольку профиль лопастей достаточно сложно получить традиционными методами механической обработки металлических и полимерных заготовок, а также из-за трудо- и энергоемкости изготовления моделей и значительного расхода материала.

В настоящее время в СНИЛ ГГТУ им. П. О. Сухого ведутся работы по созданию литейной формы для последующей заливки и исследования качества полученной отливки.

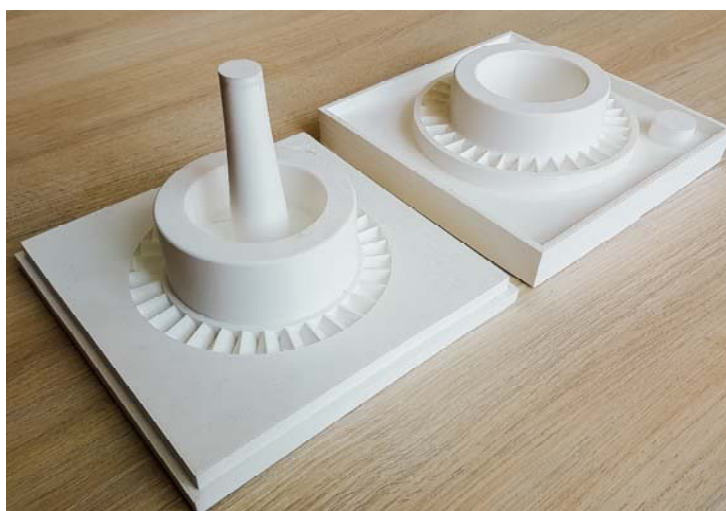


Рис. 3. Готовые литейные модели для отливки

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. О. Ковалев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. Н. Швецов

Одним из перспективных методов нанесения износостойких самосмазывающихся порошковых покрытий является метод электроимпульсного спекания [1]. Данный способ позволяет получать покрытия из антифрикционного металлофторопластового порошкового материала, имеющего расширенный диапазон эксплуатационных свойств за счет возможности совместного использования фторопластового и металлических компонентов.

На основании известных физических величин температура в зоне деформации при пропускании через нее электрического тока определяется по зависимости [2]:

$$T_k = \frac{I^2 \cdot t_c [4\rho \cdot h / d_i^2 + R_m]}{4m\sqrt{\lambda \cdot \gamma \cdot c \cdot v \cdot \delta \cdot \sqrt{t_c}}} + \frac{P_d \cdot h_m}{4m\sqrt{\lambda \cdot \gamma \cdot c \cdot S \cdot \sqrt{t_c}}}, \quad (1)$$

где I – сила тока, А; $m = 1/2$ – коэффициент, учитывающий неравномерность падения температуры; t_c – время сварки, с; R_m – электросопротивление материала, Ом; ρ – удельное электросопротивление, Ом · м; h_p – толщина проплавления, м; d_i – диаметр точки проплавления, м; λ – плотность материала, кг/м³; γ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · К); c – удельная теплоемкость материала, Дж/К · кг; v – скорость движения роликов, м/с; H – начальная высота полосы до прокатки, м; p – контактное давление, Па; h – толщина материала после прокатки, м; S – площадь контакта прокатываемого материала с валками-электродами, м².

При расчете температуры в зоне контакта по данной зависимости наибольшую трудность составляет определение электросопротивления композиционной составляющей.

Целью данной работы являлось экспериментальное определение электросопротивления при нагреве антифрикционных композиционных материалов.

В качестве исследуемой композиции была выбрана следующая антифрикционная металлофторопластовая порошковая смесь при следующем соотношении компонентов, мас. %: Fe – 62,5–77,0; ПТФЭ-4 – 5–10; Cu – 5–10; Ni – 5–10; Sn – 1–2,5, омедненного графита – 4–5.

Для экспериментального определения электросопротивления была создана и использована опытная установка, структурная схема которой представлена на рис. 1. В соответствии с ней источник питания и измерительный мост подсоединен к пресс-форме, на которую воздействует исполнительная машина. Показание электросопротивления композиционного материала определялось с помощью гальванометра.

Также разработана и изготовлена пресс-форма, структурная схема которой представлена на рис 2.

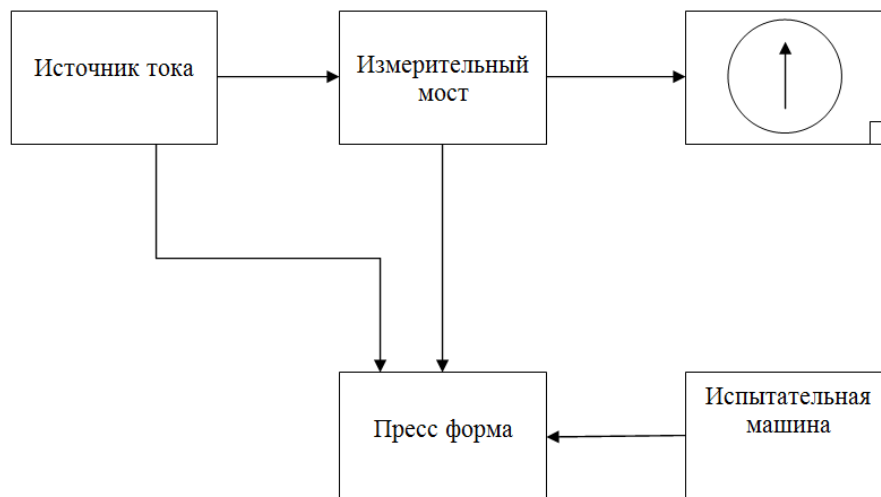


Рис. 1. Структурная схема опытной установки

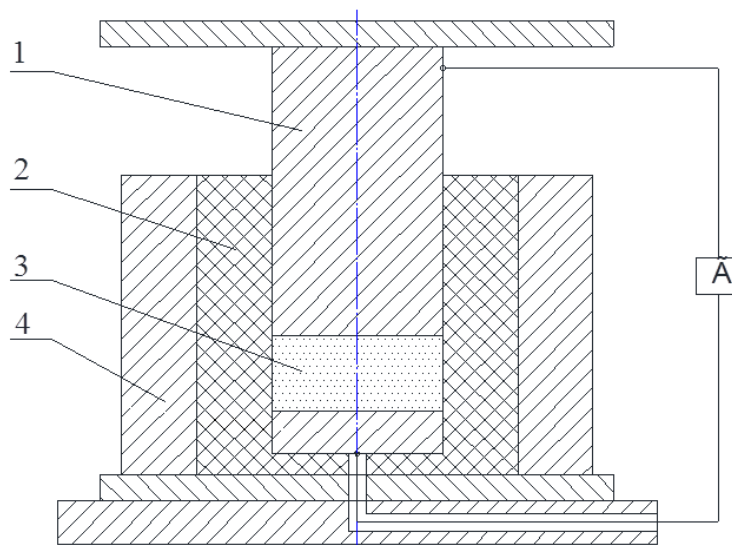


Рис.2. Структурная схема пресс-формы:
1 – пуансон; 2 – электроизоляционный материал;
3 – композиционный материал; 4 – матрица

Для определения электросопротивления композиционного материала использовался статистический метод планирования многофакторного эксперимента. В качестве варьируемых факторов были выбраны температура и давление, воздействующие на композиционный материал.

Предварительно методом «крутого восхождения» с учетом технических характеристик экспериментальной установки была экспериментально определена область изменения интервалов варьирования. Дальнейшее исследование совместного влияния варьируемых факторов проводилось с помощью метода рототабельного планирования.

Для проверки однородности дисперсий параллельных опытов использовался критерий Кохрена. Гипотеза об однородности дисперсий была подтверждена при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что позволяет использовать регрессионный анализ и провести статистическую обработку полученных результатов эксперимента. Коэффициенты регрессии рассчитывались на ЭВМ.

После обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, отражающее влияние факторов на исследуемую функцию. Проверка адекватности математической модели проводилась с помощью F -критерия Фишера для уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Уравнение регрессии для определения электросопротивления:

$$R = 1,56931 - 0,0246 \cdot T_k + 0,00009 \cdot T_k^2 - 1,35585 \cdot P + 0,3031 \cdot P^2 + 0,0107 \cdot T_k \cdot P. \quad (2)$$

После подстановки значений в уравнение (1), которое решалось с помощью ЭВМ, рассчитанные значения температура в зоне контакта проверялись экспериментально с помощью скользящей термопары.

На основе экспериментальных и расчетных данных была построена зависимость температуры в контакте от импульсного электротока (рис. 3).

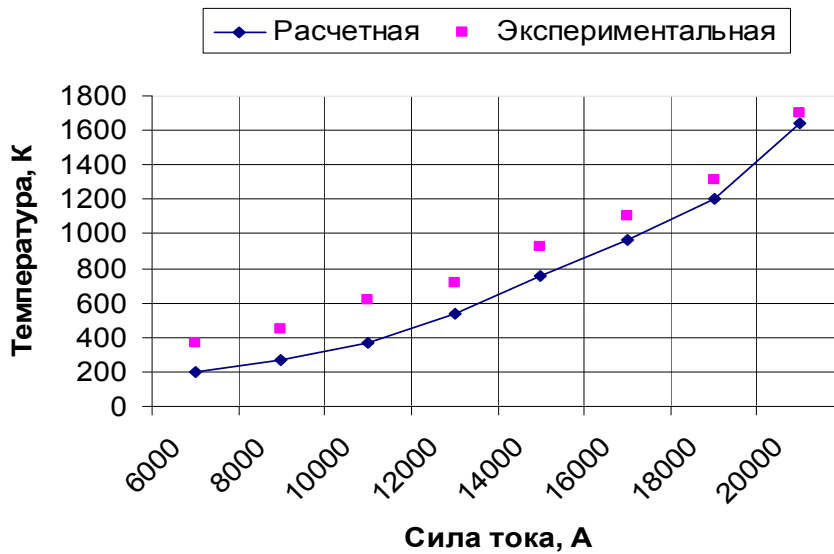


Рис. 3. Зависимость температуры от величины электроимпульсного тока:
1 – экспериментальная температура; 2 – расчетная температура

Как видно из графика, характер изменения экспериментальной и теоретической температуры в контакте от давления одинаков, что позволяет сделать заключение, что полученное уравнение регрессии для определения электросопротивления верно описывает данный процесс. Несколько завышенные значения экспериментальной температуры, по сравнению с расчетной, связаны с тем, что при расчете сопротивления деформации для определения давления при горячей прокатке термомеханические коэффициенты принимались как для компактного железного материала без посторонних включений.

Литература

1. Способ получения покрытия из антифрикционного металлофторопластового порошкового материала : пат. Респ. Беларусь № 18498. / Ю. Л. Бобаркин, А. Н. Швецов, С. В. Шишков. – 2010.
2. Кочергин, К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1987. – 240 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ФАСОННЫХ УТОЛЩЕНИЙ НА КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ РАЗМЕРНОГО РЯДА ДИАМЕТРОВ 16–40 МИЛЛИМЕТРОВ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. С. Хохлов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Я. И. Радькин

На сегодняшний день единственным способом механического резьбового соединения арматурных стержней, допущенным к применению на территории Республики Беларусь, является система муфтового соединения, которая позволяет частично исключить стыки на ванной сварке, вязку арматуры и заменить их на муфтовые соединения арматурных стержней.

Цель работы – провести исследования для определения рабочих режимов получения утолщений на концах арматурных стержней 16–40 мм, используемых для последующей нарезки резьбового соединения.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

- разработать адекватную численную модель процесса холодной высадки концов арматуры;
- провести ряд численных экспериментов;
- определить усилия, необходимые для высадки концов арматуры и удержания арматурного профиля в прессовочном агрегате.

Разработка адекватной численной модели процесса холодного прессования концов арматуры выполнялась в следующей последовательности: разработка геометрической модели процесса; построение конечно-элементной сетки; выбор формулировки для решения задачи; задание граничных и начальных условий; расчет параметров прессования и их сравнение с параметрами, взятыми с реального процесса.

Полученная трехмерная геометрическая модель процесса холодного прессования концов арматуры представлена на рис. 1.

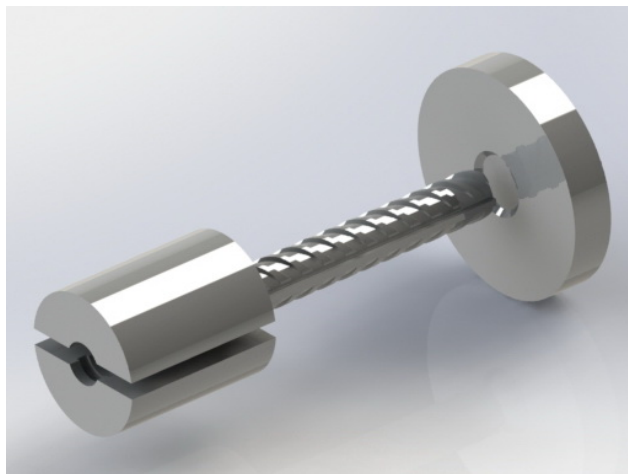


Рис. 1. Трехмерная модель процесса холодного прессования концов арматуры

Для построения конечно-элементной сетки геометрическая модель заготовки разбивается на конечные элементы. Задача численного расчета сводится к определению температурного и напряженно-деформированного состояния заготовки при комбинированном воздействии на нее сил со стороны валков и оправки.

Для решения задачи численного моделирования выбрана формулировка Лагранжа–Эйлера, которая позволяет обеспечить требуемую точность и корректность результатов при моделировании процессов связанных с большими величинами деформаций.

Для материала черновой трубы принимается упругопластическая модель Мизеса, включающая деформационное пластическое упрочнение и эффект Боушингера.

При моделировании процесса были приняты следующие допущения:

- материал деформируемого тела (заготовки) – изотропный, сплошной, несжимаемый, пластичный;
- пуансон и прижимы были приняты абсолютно жесткими телами;
- вся заготовка нагрета по объему до температуры 20 °С;

- температура инструмента в процессе прессования постоянна;
- заготовка связана с прижимами жесткой заделкой;
- усилие прижимов определяется как величина, обратная усилию, действующему со стороны заготовки на стенки прижимов в процессе прессования.

Исследовались профили арматуры № 16, № 25, № 32 и № 40. Схема процесса представлена на рис. 2.

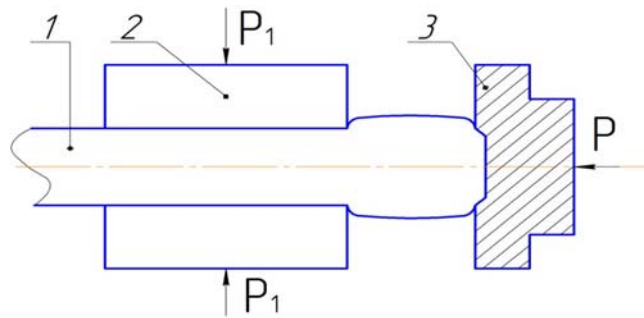


Рис. 2. Схема процесса холодного прессования концов арматуры:
 1 – арматура; 2 – прижимы; 3 – пуансон; P – усилие прессования;
 P_1 – усилие прижимов

После окончания прессования конец арматуры имеет бочкообразную форму (рис. 3). Необходимо снять часть металла, чтобы получить на конце арматуры цилиндр диаметром d и длиной l для последующей нарезки резьбы.

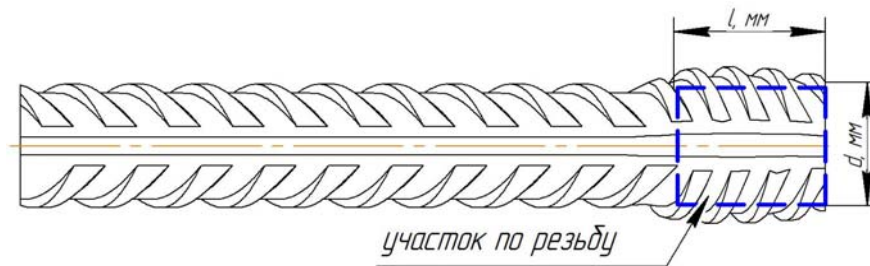


Рис. 3. Арматура после прессования

В результате моделирования определены усилия прессования и прижимов, а также геометрические размеры цилиндров для нарезки резьбы (таблица).

Результаты численного моделирования

Номер арматуры	Усилие прессования, кН	Усилие прижимов, кН	Длина участка l , мм	Диаметр участка d , мм
16	210	45	22–25	17–19
25	451	112	22–23	25–26
32	824	132	24–25	33–34
40	1290	192	24–25	40–42

На рис. 4 представлены картины распределения напряжений в заготовке в процессе прессования арматуры.

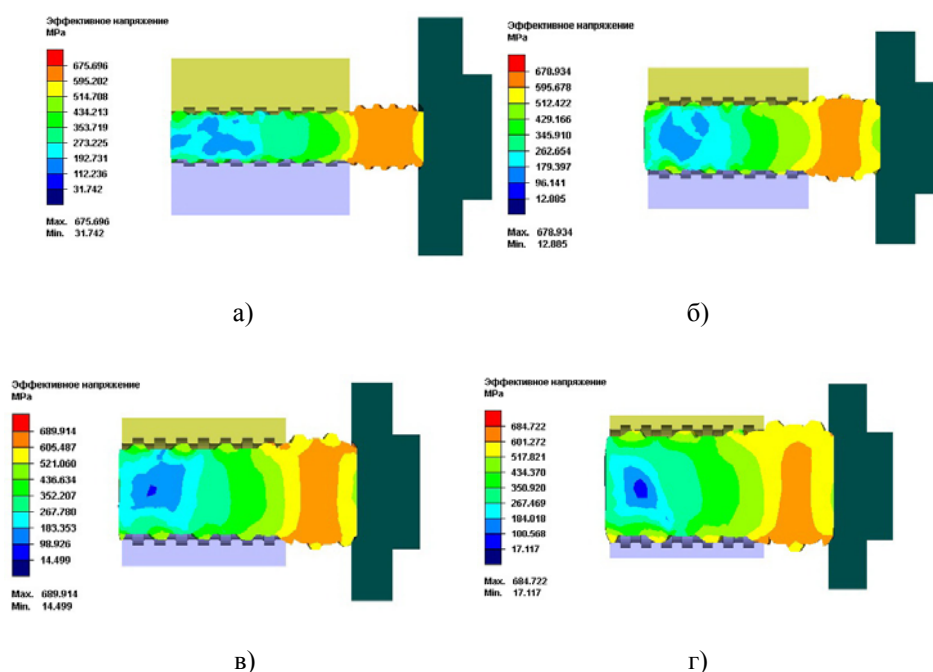


Рис. 4. Распределение напряжений при прессовании арматуры: а – арматурный профиль № 16; б – арматурный профиль № 25; в – арматурный профиль № 32; г – арматурный профиль № 40

Из распределений напряжений в очаге деформации при формировании утолщения плитой с углублением для фаски (рис. 4) следует, что очаг деформации нагружен относительно неравномерно. Это говорит о том, что прессование плоским инструментом, даже при наличии центрующей фаски, отличается нестабильностью пластического течения металла в очаге деформации. Поэтому преимущество этого вида пуансона состоит только в возможности организовать центрирование торца при его обработке давлением и в формировании фаски для захода резьбы для исключения этой операции в последующей операции нарезания резьбы.

В данной работе были получены следующие результаты:

- впервые разработана численная модель холодного прессования концов арматуры;
- на основании выполнения виртуального процесса высадки с помощью адекватной численной модели определены усилия, необходимые для прессования концов арматуры и удержания арматурного профиля в прессовочном агрегате.

3D-МОДЕЛЬ КРИВОШИПНОГО ПРЕССА K2130B, ВЫПОЛНЕННАЯ В САПР КОМПАС-3D

Ф. М. Башак

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. Н. Целуева

Прессы кривошипные – это сложные технологические установки, относящиеся к категории прессово-штамповочного оборудования (ПШО) и содержащие большое количество деталей и сборочных единиц.

Прессы однокривошипные простого действия открытые ненаклоняемые двух-стоечные K2130B предназначены для изготовления деталей операциями холодной

листовой штамповки: гибкой, вырубкой, пробивкой, неглубокой вытяжкой и т. д., в том числе в составе автоматизированных комплексов. Прессы применяются на предприятиях различных отраслей промышленности, в цехах и на участках холодной листовой штамповки. Находят широкое применение при любом типе производства: мелкосерийном, серийном, массовом.

Прессы предназначены для работы как на одиночных, так и на непрерывных ходах при оснащении их автоматическими подачами (роликowymi, валковыми, шибберными и др.). Прессы, оборудованные автоматическими подачами, могут использоваться в автоматических и поточных линиях.

Размеры штампуемого изделия на прессе определяются размерами штампового пространства, величиной хода ползуна и допускаемыми усилиями на ползуне. Межштамповое пространство регулируется.

Станина прессов литая чугунная коробчатой формы воспринимает все усилия, возникающие при штамповке.

Ползун изготовлен из высокопрочного чугуна, имеет коробчатую форму с призматическими двусторонними направляющими. Левая направляющая регулируемая. Ползун снабжен предохранителем от перегрузки и клиновым устройством для выведения пресса из распора. Величина хода ползуна регулируемая. Для устранения влияния массы ползуна и верхней половины штампа на работу прессов, а также для предотвращения произвольного опускания ползуна в аварийных ситуациях предусмотрены пневматические уравниватели. Привод ползуна – от электродвигателя через клиноременную передачу, маховик с вмонтированной в него муфтой-тормозом и эксцентриковый вал.

Электроблокировка и ограждения обеспечивают надежную работу и безопасное обслуживание прессов.

Производители прессово-штамповочного оборудования всегда стремятся лучшим образом спроектировать оборудование, чтобы сделать его как можно более надежным. Это позволит изготовить с его помощью качественные детали и выполнить качественную сборку изделий. Ввиду сложности конструкции ПШО и необходимости обеспечения высокой надежности процесс проектирования такого оборудования требует от конструкторов особого профессионализма и мастерства, а также сопровождается значительными финансовыми и временными затратами.

Сегодня, учитывая технический прогресс, в том числе и в сфере информационных технологий, особенно актуальной при проектировании ПШО становится возможность применения специализированных программных продуктов. В настоящее время многие отечественные производители ПШО для автоматизации проектирования используют программные продукты компании АСКОН, в частности, САПР КОМПАС-3D, в состав которой входят различные библиотеки.

Цель работы – автоматизация проектирования прессово-штамповочного оборудования и создания чертежно-конструкторской документации в системе КОМПАС-3D на основе трехмерных твердотельных моделей сборочных единиц и деталей пресса.

Работа выполнена в рамках темы «3D-моделирование узлов технологической оснастки и оборудования» учебно-исследовательской лаборатории «Компьютерное моделирование технологических процессов и проектирование оснастки» кафедры «Металлургия и технологии обработки материалов». Создана 3D-модель однокришопинного пресса простого действия К2130В.

Разработка трехмерной модели кривошипного пресса К2130В осуществлялась в соответствии с информацией паспорта пресса и другой справочной информацией, приведенной в списке литературы.

Проектирование кривошипного пресса выполнялось в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D V13 с подключенной библиотекой «Машиностроение».

Автоматизированное проектирование ПШО в среде векторного графического редактора заключается в выполнении конструктором совокупности действий, в результате которых создаются трехмерные модели конструкции кривошипного пресса и его деталей. В ходе выполнения работы создана сборочная 3D-модель кривошипного пресса К2130В, содержащая все его узлы и детали. Построение пространственной геометрической модели проектируемого изделия является центральной задачей автоматизированного проектирования. Именно эта модель используется для дальнейшего решения задач проектирования. На рис. 1 представлена трехмерная модель детали «Станина» пресса.

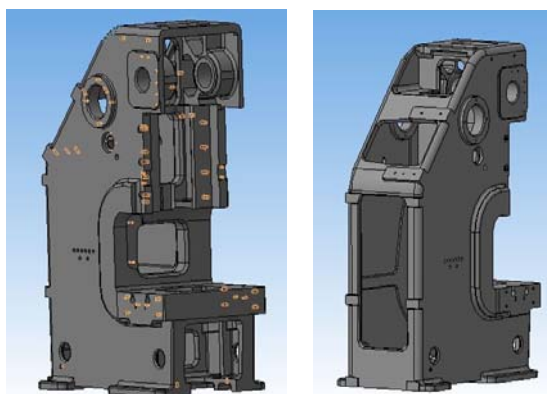


Рис. 1. Трехмерная модель детали «Станина»

Выделим основные команды, используемые при создании 3D-моделей деталей, входящих в состав кривошипного пресса, в системе 3D-моделирования КОМПАС-3D V13:

1. *Спроецировать объект.* Позволяет создать в текущем эскизе прямоугольную проекцию указанного трехмерного объекта – вершины, грани, ребра, пространственной кривой, оси, точки и т. п.

2. *Выдавливание, вращение, кинематическая операция, операция «По сечениям».* Основные операции, которые позволяют создавать твердотельные 3D-модели объектов любой сложности.

3. *Вырезать кинематически.* Позволяет вырезать из модели кинематический элемент.

4. *Вырезать по сечениям.* Позволяет вырезать из модели элемент по сечениям, который образуется путем соединения нескольких сечений. Крайнее сечение может быть точкой. Если необходимо, можно указать осевую линию – контур, задающий направление построения элемента.

5. *Вспомогательные плоскости.* Команда «Касательная плоскость» позволяет создать одну или несколько вспомогательных плоскостей, касательных к цилиндрической или конической грани детали.

Команда «Смещенная плоскость» позволяет создать одну или несколько вспомогательных плоскостей, расположенных на заданном расстоянии от указанной плоскости.

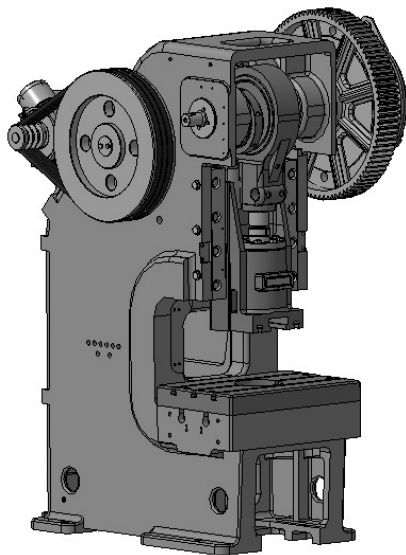
Команда «Плоскость под углом к другой плоскости» позволяет создать одну или несколько вспомогательных плоскостей, проходящих через прямолинейный объект под заданным углом к существующему плоскому объекту.

6. *Массивы.* При работе с моделью может потребоваться создание копий одинаковых объектов (например, операций или компонентов сборки), которые были бы определенным образом упорядочены – например, образовывали прямоугольную сетку с заданными параметрами, или были симметричны относительно плоскости. В КОМПАС-3D имеется возможность построения массивов следующих типов: по сетке; по концентрической сетке; вдоль кривой; по точкам; по таблице; зеркальный массив; массив по образцу. Все массивы, кроме массива операций, можно разрушить на отдельные экземпляры.

7. *Зеркальный массив.* Результат зеркального копирования операции, поверхности, кривой или точки – новый объект, зеркально симметричный копируемому объекту, и того же типа, что копируемый объект. Результат зеркального копирования тела – тело, обладающее плоскостью симметрии, или новое тело, зеркально симметричное имеющемуся. Зеркальный массив для различных типов объектов строится по-разному, поэтому набор элементов управления для создания зеркальной копии объекта зависит от типа этого объекта – тело, поверхность, операция, кривая или точка.

8. *Библиотека «Стандартные изделия».* Каталог предоставляет пользователю системы КОМПАС-3D возможность выбора и вставки в документы моделей стандартных изделий и конструктивных элементов в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами.

В результате выполнения работы в автоматизированном режиме с использованием библиотек «КОМПАС-3D» была спроектирована сборочная 3D-модель прессы однокривошипного K2130B, содержащая следующие основные элементы: станина, ползун, уравниватели ползуна, шатун, эксцентриковый вал, муфта-тормоз, маховик, электродвигатель (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. 3D-модель прессы однокривошипного K2130B:
а – 3D-модель прессы, созданная в САПР КОМПАС-3D;
б – фотореалистичное изображение 3D-модели прессы

Автоматизация проектирования ПШО с использованием 3D-моделирования в системе КОМПАС-3D позволяет повысить скорость и качество проектирования оборудования, что, в свою очередь, обеспечит повышение его надежности. Эффективность проектирования в КОМПАС-3D определяется использованием входящих в ее состав инструментов и специализированного программного средства – Библиотека «Стандартные изделия».

Следует отдельно отметить, что результаты данной работы внедрены в учебный процесс: созданы наглядные видео-материалы, содержащие изображения 3D-моделей основных деталей и узлов прессы, которые используются при преподавании дисциплины «Теория, расчеты и конструкции кузнечно-штамповочного оборудования» студентам специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением». Это позволило повысить качество преподавания дисциплины и степень освоения учебного материала студентами.

Литература

1. Большаков, В. П. Построение 3-D моделей сборок в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС» / В. П. Большаков. – СПб. : СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. – 80 с.
2. Ганин, Н. Б. Автоматизированное проектирование в системе КОМПАС-3D / Н. Б. Ганин. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 360 с.
3. Буренков, В. Ф. Пневматические уравниватели кривошипных машин. Конструирование и расчет: метод. указания к курсовому проекту по дисциплине «Теория, расчеты и конструкции прессово-штамповочного оборудования» для студентов специальностей 1-36 20 02 «Упаковочное производство (по направлениям)» днев. формы обучения и 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» днев. и заоч. форм обучения / В. Ф. Буренков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 20 с.
4. Буренков, В. Ф. Станины кривошипных прессов. Конструирование и расчет : учеб.-метод. пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Теория, расчеты и конструкции прессово-штамповочного оборудования» для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» днев. и заоч. форм обучения / В. Ф. Буренков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 29 с.
5. Буренков, В. Ф. Фрикционные муфты включения и тормоза. Конструирование и расчет : метод. указания к курсовому проекту по дисциплине «Теория, расчеты и конструкции прессово-штамповочного оборудования» для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» и 1-36 20 02 «Упаковочное производство (по направлениям)» днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост. В. Ф. Буренков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 41 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КАЛИБРОВКИ ПРОКАТКИ АРМАТУРЫ № 35 ИЗ СТАЛИ 25Г2С

Е. Н. Казаков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Верещагин

В связи с тем, что в последнее время снизилась потребность в арматуре на постсоветском пространстве, стало необходимо увеличить производство профилей, ориентированных на экспорт.

Цель данного доклада заключается в разработке системы калибровки прокатки арматуры № 35, ориентированной на рынок Северной Америки.

Выбор количества и формы отделочных калибров. Количество и форма отделочных калибров, т. е. чистового и предчистовых калибров, зависит от формы готового или конечного профиля и от принятой системы калибровки отделочных калибров.

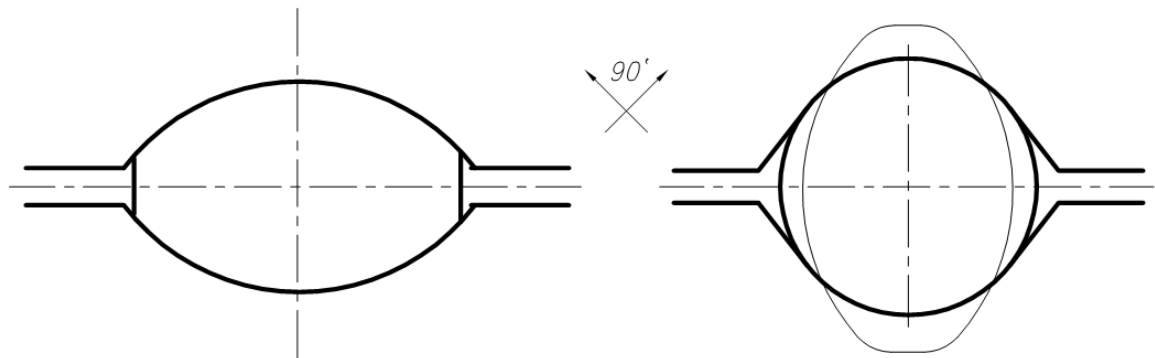


Рис. 1. Схема отделочных калибров для круглого профиля

Для круглого профиля отделочными калибрами служат овальный предчистовой калибр и чистовой круглый калибр. После предчистового овального калибра раскат овального профиля проходит кантовку на 90° и входит в чистовой круглый калибр, где формируется окончательный профиль (рис. 1).

Выбор системы вытяжных калибров. Как правило, вытяжные калибры формируются по определенным системам, которые определяются чередующейся однотипной формой калибров.

Каждая система вытяжных калибров характеризуется своей парой калибров, которая и определяет название системы вытяжных калибров.

Пара вытяжных калибров – это два последовательных калибра, в которых заготовка от равноосного состояния в первом калибре переходит в неравноосное состояние, а во втором – опять в равноосное, но с меньшей площадью сечения.

Существует свыше десяти систем вытяжных калибров. В практике сортовой прокатки выработаны такие системы вытяжных калибров, которые обеспечивают высокие вытяжки, устойчивость раската в калибре, возможность механизации и хорошие условия для удаления окалины с поверхности раската, минимальный и равномерный износ ручьев.

Применяются следующие системы вытяжных калибров:

- 1) система прямоугольных калибров;
- 2) система «прямоугольник–гладкая бочка»;
- 3) система «овал–квадрат»;
- 4) система «ромб–квадрат»;
- 5) система «ромб–ромб»;
- 6) система «квадрат–квадрат»;
- 7) универсальная система;
- 8) комбинированная система;
- 9) система «овал–круг»;
- 10) система «овал–ребровый овал».

Каждая из этих систем в разной степени удовлетворяет вышперечисленным условиям.

На мелко- и среднесортовых современных прокатных станах чаще применяют системы:

- 1) «ромб–квадрат»;
- 2) «овал–квадрат»;

- 3) «овал–круг»;
4) «овал–ребровый овал».

Эти системы калибровки обеспечивают хорошее качество проката и устойчивое положение раската на калибрах.

При прокатке в вытяжных калибрах всегда применяется кантовка раската или поворот его вокруг своей продольной оси на определенный угол (обычно 45° или 90°) при переходе раската между клетями от первого калибра пары калибров к другому калибру.

Кантовка может заменяться чередованием горизонтальных вертикальных прокатных клетей, что обеспечивает эффект кантовки без поворота заготовки.

Кантовка раската или чередование горизонтальных и вертикальных прокатных клетей или валков необходима для перевода неравноосного состояния заготовки после прохода первого калибра пары вытяжных калибров в равноосное состояние во втором калибре пары.

Одной из перспективных систем калибровки является система «овал–ребровый овал», обеспечивающая устойчивый режим прокатки, хорошее качество проката. Таким образом, заготовка последовательно проходит типы калибров: «овал–ребровый овал», снова «овал–ребровый овал» и т. д. до получения требуемого уменьшения сечения заготовки. При этом после каждого прохода заготовка кантуется на 90°.

Таблица калибровки представлена на рис. 2.

№ КЛЕТИ	КАЛИБР				МЕТАЛЛ			Вытяжка, λ	ДИАМЕТР ВАЛКОВ		Относительное обжатие, %	Передачное число	Скорость V, м/с
	форма	Ввр, мм	Нвр, мм	S, мм	H, мм	B, мм	F, мм ²		номинальный, мм	капюшый, мм			
1		178	38,5	21	98	159	13600	1,453	560	495	31,2	38,07	0,504
2		117,4	46,5	18	111	115	9820	1,385	560	492	27,8	30,45	0,697
3		141,3	29	9	67	138	7110	1,381	560	517	27,6	24,28	0,963
4		93	37,75	9,5	85	87	5775	1,231	560	503	18,8	18	1,186
5		119,6	20,1	9	49,2	106	4165	1,387	405	375	27,9	9,54	1,644
6		67	27	8	62	63,5	3065	1,359	405	365	26,4	7,01	2,236
7		90,9	13,25	10,5	37	76,8	2380	1,288	405	385	22,3	6,7	2,878
8		49,7	20	9	49	47	1825	1,304	405	375	23,3	5,04	3,753
9												3,85	
10												3,04	
11												2,71	
12												2,04	
13												1,62	
14												0,94	
15												1,45	
16												1,18	
17		60	12	6,3	30,3	57	1430	1,276	325	306	21,6	154	4,790
18		36,2	15,75	3,2	№35 (CAN)		1053	1,358	325	298	26,4	123	6,5
19												1,1	
20												0,98	

ЗАГОТОВКА #140±3,7 мм, разность диагоналей < 10 мм, длина 12 м, масса 1800 кг

Рис. 2. Таблица калибровки

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВКИ «КОРПУС КВК0504201»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

И. Л. Навицкий

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Т. М. Заяц

Применение математического моделирования процессов изготовления деталей методом литья позволяет снизить затраты, поскольку отработка конструкции литниковой системы и температурно-временных параметров технологического процесса ведется не на реальных дорогостоящих плавках, а путем многовариантных численных исследований. Низкая стоимость и короткие сроки выполнения компьютерного эксперимента, а также большой объем и наглядность полученной информации о ходе технологического процесса и качестве будущей отливки делают компьютерное моделирование важнейшим инструментом исследования.

Задачей моделирования является поиск эффективного алгоритма минимизации дефектов в отливках с целью устранения недостатков технологии на этапе технологической подготовки.

С помощью программы LVM-Flow промоделирован процесс изготовления отливки «Корпус КВК0504201». Для моделирования в программе использована полная геометрия исходной заводской литейной технологии (рис. 1).

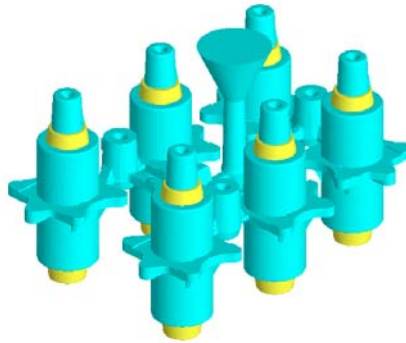


Рис. 1. Геометрия исходной заводской литейной технологии

В программе учтены основные принципы реализации методов предотвращения дефектов: подвод металла в места, где вероятно возникновение усадки, компенсация усадочных дефектов, движение металла с учетом отсутствия столкновения струи металла со стержнем, удержания шлаковых частиц и др.

Результаты моделирования существующей технологии следующие:

1. На рис. 2 – схема заполнения формы, где стрелками показано направление движения металла. Питатель прикреплен к фланцу и немного смещен от центра цилиндра, что смягчает удар струи о стержень, так как струя идет по касательной.

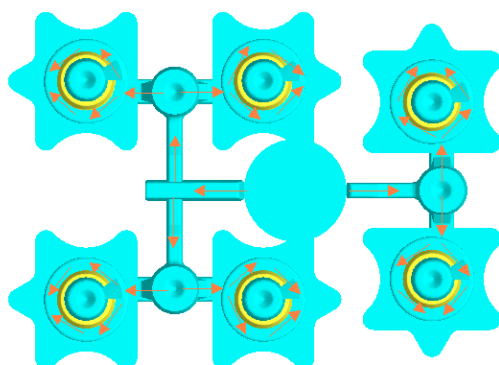


Рис. 2. Схема заполнения формы

На рис. 3 – время заполнения формы, где показано, какие части отливки заливаются в первую очередь.

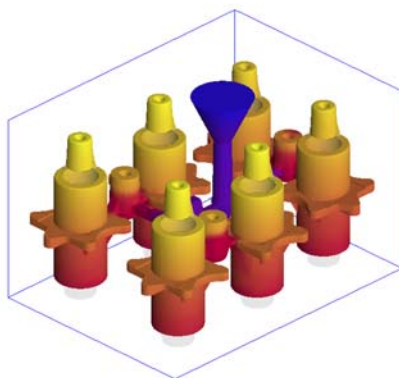


Рис. 3. Время заполнения формы

На рис. 4 – время затвердевания отливки, где видно, откуда начинается кристаллизация отливки.

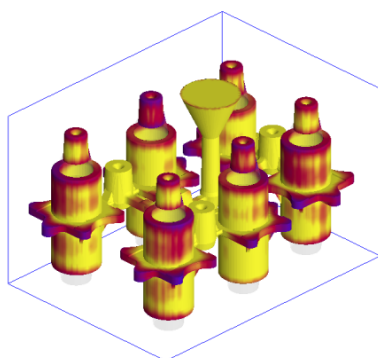


Рис. 4. Время затвердевания отливки

На рис. 5 – усадочные раковины, где видно, что раковины сконцентрированы в питающих бобышках. Это означает, что бобышки выполняют свою функцию, кроме тех, которые находятся над стержнем.

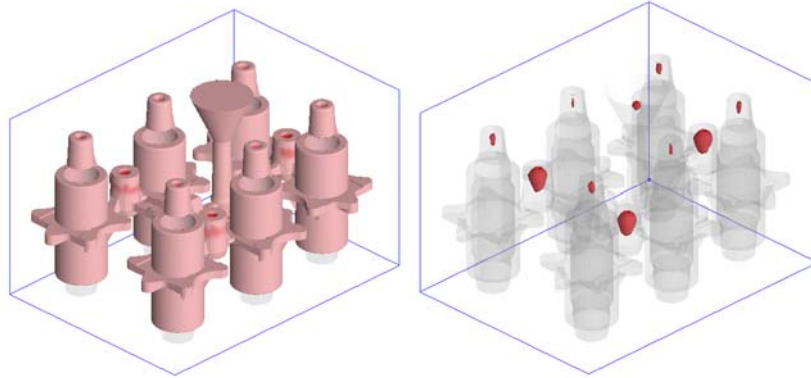


Рис. 5. Усадочные раковины

На рис. 6 – микропористость в отливке, показаны участки, где может образоваться незначительная микропористость. Расчет микропористости ведется на основе безразмерного критерия Нийяма.

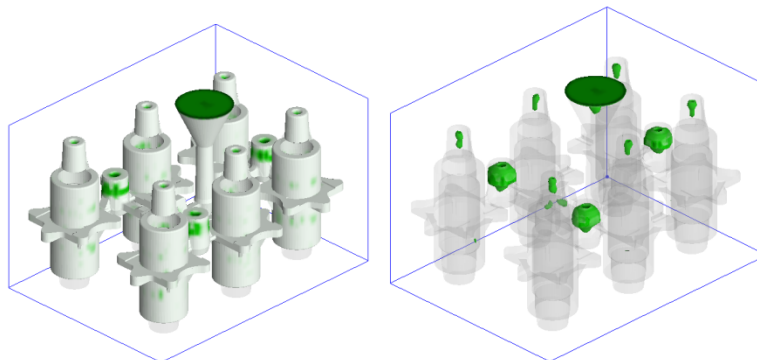


Рис. 6. Микропористость в отливке

Далее проанализированы полученные результаты и проведен поиск улучшения технологии. Было принято решение убрать питающие бобышки, которые находятся над стержнем.

Проверка улучшенной технологии. Температурно-временные параметры практически не изменились, так как литниково-питающая система (ЛПС) изменилась незначительно.

Из рис. 8 видно, что усадочные раковины сконцентрированы также в питающих бобышках и в отливках их не наблюдается.

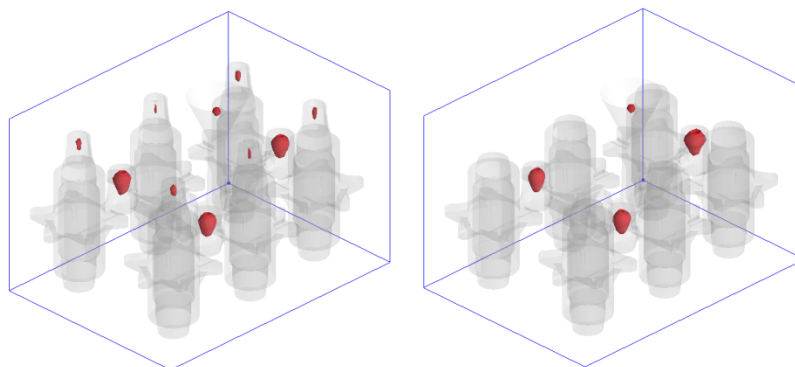


Рис. 8. Усадочные раковины до и после усовершенствования технологии

Если судить по рис. 9, увеличения микропористости не произошло.

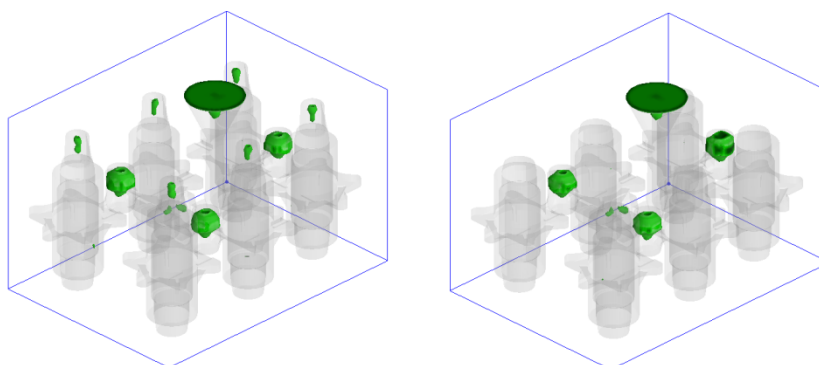


Рис. 9. Микропористость до и после усовершенствования технологии

Проанализировав все полученные данные, можно сделать вывод о том, что предложенная технология – при той же ЛПС, но без питающих бобышек, расположенных над стержнем, получаем отливку с меньшей микропористостью и с большим выходом годного.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ УПАКОВКИ ДЛЯ НАБОРА ПАРФЮМЕРНО-КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Д. И. Иваницкая

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель С. Н. Целуева

Конкуренция на рынке товаров заставляет производителей уделять все большее внимание упаковке, а современный потребитель предъявляет все более высокие требования к ней. Именно упаковка становится средством общения с потребителем, инструментом «трансляции» ценностей продукта. Она должна вызывать у потребителя желание купить именно этот товар, а ее эстетичный вид, привлекательность и удобство должны стимулировать это желание. Чем оригинальнее упаковка, тем больше шансов у товара быть замеченным потребителем. Формирование с помощью упаковки не-

повторимого образа товара – очень сложная задача. Упаковка должна удовлетворять требованиям эстетического соответствия современному состоянию предметной среды, поэтому она входит в рамки общехудожественного процесса, соответствующего нормам дизайнерской деятельности. Умение красиво представлять товар в некоторой степени можно сравнить с искусством. В связи с этим определяющим этапом работы при проектировании упаковки является разработка дизайн-проекта.

Целью работы является разработка дизайн-проекта упаковки для набора парфюмерно-косметической продукции.

Работа выполнялась в рамках курсового проектирования по дисциплине «Компьютерное проектирование» специальности 1-36 20 02 «Упаковочное производство». Дизайн-проект упаковки из картона создавался для следующего набора парфюмерно-косметической продукции: парфюмерная вода для женщины в стеклянном флаконе, парфюмерная вода для мужчины в стеклянном флаконе, влажные салфетки в саше-пакете из полимерного пленочного материала. При выполнении работы использовались средства графических редакторов AutoCAD V14 (в составе лицензионного программного комплекса Autodesk Education Master Suite) и PhotoShop.

На **первом этапе** был разработан вариант конструктивного решения (исполнения) картонной упаковки, при этом учитывались следующие факторы: особенности упаковываемых товаров и обусловленные ими требования; комплектность упаковки; варианты исполнения конструктивных элементов упаковки для парфюмерно-косметической продукции и требования к ним; требования технологичности конструкции упаковки: функциональность, надежность, рациональность; требования стандартов к упаковке для парфюмерно-косметической продукции; требования унификации; технические ограничения; связь формы упаковки с человеком с точки зрения эргономики; требования к обеспечению безопасности при изготовлении, распределении и потреблении упакованной продукции; экономические, экологические и логистические требования.

Прототипом для конструктивного решения проектируемой упаковки стала упаковка для кроссовок Adidas, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Прототип проектируемой упаковки

Выбранное конструктивное решение упаковки для набора парфюмерно-косметической продукции является оригинальным и позволяет создать неповторимую упаковку подарка, например, семейной паре. При этом форма упаковки достаточно проста, технологична и удобна в использовании. Так как товары находятся в отдельных ячейках, то доступ к ним обеспечивает их раздельное использование. Для предотвращения смешивания запахов и большей прочности упаковки внутри предусмотрена разделительная перегородка, которая поддерживает верхнюю часть встроенной коробки и укрепляет всю конструкцию, а для обеспечения возможности удобного перемещения коробки в ее верхней части предусмотрена встроенная пластиковая ручка.

Далее, в ходе выполнения второго этапа работы, с использованием методик, представленных в [1], [2], спроектированы основные конструктивные элементы упаковки с учетом требований стандартизации и унификации, определены оптимальные габаритные размеры упаковки и разработана развертка упаковки, представленная на рис. 2.

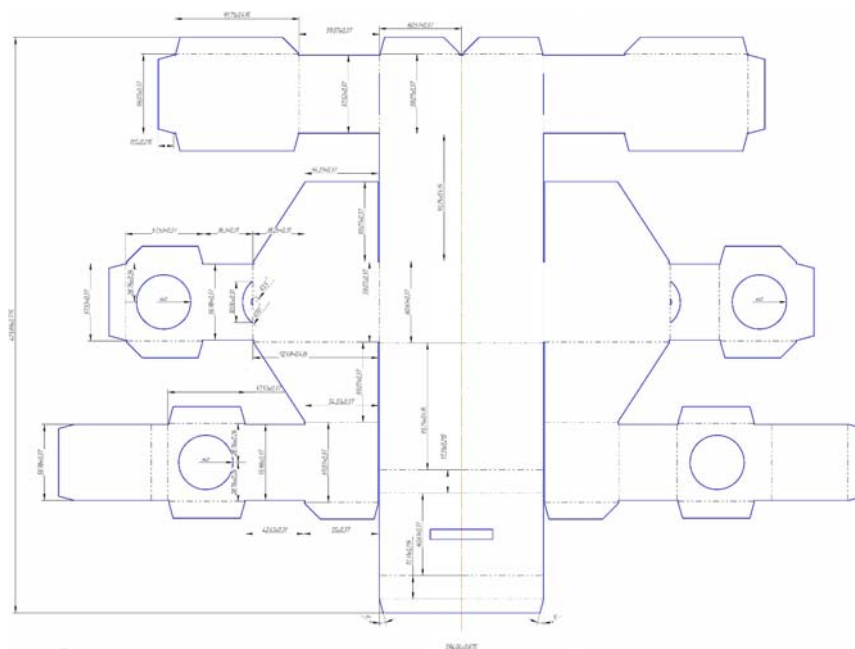


Рис. 2. Развертка упаковки

На **третьем этапе** работы разрабатывалось дизайнерское решение упаковки.

Дизайнерское оформление упаковки является сложным, важным и ответственным этапом создания дизайн-проекта упаковки, так как определяет ее эстетичность, позволяет выделить товар среди аналогичных и способствует побуждению потребителя к выбору данного товара.

Разработка дизайнерского оформления упаковки для набора парфюмерно-косметической продукции выполнена в следующей последовательности: дизайн-анализ, дизайн-стратегия, дизайн-концепция с разработкой цветографической концепции, дизайн-макет.

Дизайн-анализ позволил учесть достоинства и недостатки упаковок конкурентов, благодаря чему разработана стратегия идеального дизайна, определенная как две противоположные стихии – огонь и вода. В ходе разработки дизайн-концепции обосновано цветофактурное, графическое и текстовое решение упаковки с точки зрения коммуникативной функции. С точки зрения правил дизайна выбрано конкретное композиционное, графическое и текстовое решение проекта упаковки, цветовая гамма; обоснован выбор композиции и шрифта как элемента фирменного стиля; разработаны оригиналы графических элементов упаковки и цветографическая концепция (ЦГК), позволяющая создать неповторимый фирменный стиль. На основе ЦГК создан дизайн-макет упаковки (рис. 3). В целом дизайнерское решение основано на яркой, передающей эмоции цветовой гамме, а дополняется оно эффектными графическими изображениями мужчины и женщины, символизирующими огонь и воду. Данный образ позволяет привлечь покупателей разных полов и дает образную устойчивую ассоциацию.



Рис. 3. Дизайн-макет проектируемой упаковки

Решения, принимаемые при разработке дизайн-проекта, реализованы средствами графического редактора PhotoShop.

Выполнена оценка дизайн-проекта упаковки для набора парфюмерно-косметической продукции, что позволило судить о его оригинальности – с точки зрения формы и конструктивного решения, об эффективности с точки зрения способности привлечения внимания потребителя и о неповторимости дизайнерского решения.

Высокая степень оригинальности и неповторимости разработанного дизайн-проекта упаковки из картона для набора парфюмерно-косметической продукции позволяет сделать вывод о потенциальной возможности практического применения данного дизайн-проекта.

Литература

1. Ефремов, Н. Ф. Конструирование и дизайн тары и упаковки : учеб. для вузов / Н. Ф. Ефремов, Т. В. Лемешко, А. В. Чуркин ; Моск. гос. ун-т печати. – М. : МГУП, 2004. – 424 с.
2. Шпаковская, О. И, Оптимизация габаритных размеров и раскроя упаковки из картона / О. И. Шпаковская, Н. А. Щербакова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2012. – С. 143–147.

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СВЯЗУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ

В. А. Карбовская

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Л. Н. Русая

Соединение разрозненных частиц формовочного материала в единую смесь осуществляется связующим. Для скрепления твердых частиц формовочной смеси необходимо, чтобы связующее находилось в жидком или пластичном состоянии. В литейном производстве в качестве связующих применяют вещества: жидкие при

комнатной температуре; переходящие в жидкое состояние при растворении в соответствующих растворителях (таких, как вода, ацетон и т. д.); расплавляющиеся и приобретающие свойства жидкости при нагреве (бакелит, формальдегид и т. д.). Таким образом, процесс связывания частиц формовочной смеси можно рассматривать как скрепление твердых тел жидким веществом (возможно с последующим твердением) при определенных условиях. Прочность связывания зависит от соотношения сил когезии и адгезии и их абсолютных величин.

К основным классификационным признакам связующих относятся: органические и неорганические, в том числе водорастворимые и неводорастворимые.

Органические и неорганические связующие принципиально различаются своим поведением при нагреве. Органические связующие разлагаются в интервале температур 300–700 °С с выделением газовой фазы (СО, СО₂, углеводороды, мономеры и др.) и образованием твердого коксового остатка (исключением являются этил-, силикаты, образующиеся при разложении диоксида кремния).

Неорганические связующие могут претерпевать при нагреве (после испарения воды, в основном заканчивающегося при 300 °С) различные химические изменения, как правило, не сопровождающиеся газификацией и завершающиеся переходом в устойчивую форму оксида или соли.

Холоднотвердеющие смеси (ХТС) – смеси, которые отвергаются без нагрева при выдержке на воздухе, или путем обработки внешними газообразными реагентами. К ХТС относятся смеси с цементным, гипсовым, фосфатным, жидкостекольным (СО₂ – процесс), этилсиликатными связующими. ХТС с синтетическими смолами отличаются высокой прочностью при малом содержании связующего, возможностью регулирования скорости твердения в широких пределах, не теряют прочность при хранении и практически пригодны для литейных цехов с любой степенью механизации и серийности производства и любых типов сплавов.

Связывающая композиция должна иметь два следующих обязательных свойства: 1) затвердевать под действием отвердителя без нагревания; 2) иметь высокую адгезионную способность к наполнителю.

Их технологические назначения:

- 1) связующие;
- 2) отвердитель;
- 3) регулятор скорости при отверждении;
- 4) специальные добавки.

Различия между органическими и неорганическими связующими:

- 1) нагрев;
- 2) технологические свойства;
- 3) химические соединения.

Неорганические связующие делятся на группы (рис. 1).

Общее свойство связующих класса А и Б при отверждении – образование кристаллогидратов, которые обладают достаточно высокой адгезионной и когезионной прочностью.

ХТС со связующими класса Б характеризуются более высокими скоростями отверждения. В составе связующих этого класса – основной оксид и кислота. Практическое применение такие кислотно-основные связующие нашли в связывающих фосфатных композициях, содержащих смесь оксидов железа в виде окалина или железорудных концентратов, а также смесь оксидов Mg и Сг в виде хромагнетита. Преимуществом ХТС со связующими класса Б с органическими кислотами является

их легкая выбиваемость после прогрева до 1000–1100 К и в результате деструкции органических составляющих.

Неорганические связующие для ХТС

Класс, механизм отверждения	Связующее	Отверждение		
		на воздухе	продувкой химическими реагентами	физическими методами
А, гидратация	1. Жидкое стекло (силикат натрия, алюминат натрия) — неорганические вяжущие	+	++	++
	2. Цемент—вода	+	++	++
	3. Соли (сульфаты, фториды, хлориды и т.д.)—вода	++	++	++
Б, кислотно-основное взаимодействие	1. Неорганические кислоты — металлические оксиды	+	++	++
	2. Органические кислоты — металлические оксиды	++	++	++
В, полимеризация	1. Жидкое стекло (с органическими и неорганическими отвердителями)	+	++	++
	2. Жидкое стекло (СО ₂ -процесс)	++	++	++

Обозначения: «+» — смеси, используемые в промышленности; «++» — вновь разрабатываемые.

Рис. 1. Таблица неорганических связующих для ХТС

ХТС со связующими класса В основаны на использовании жидкого стекла. В качестве отвердителя для ЖС могут быть использованы материалы, содержащие кремний. В этом случае при реакции гидролиза выделяется щелочь, которая связывается кремнием.

Свойства ХТС следующие:

– живучесть. За показатель живучести принимают время выдержки ХТС, мин, до изготовления образца, в течение которого его прочность падает на 30 % по сравнению с максимальной прочностью, полученной из данной серии испытаний;

– текучесть. Определяется в исходном состоянии количеством жидкой фазы ХТС;

– хрупкость. Зависит от пластичности;

– гигроскопичность. Зависит от природы связующего;

– газовыделение. ХТС при их отверждении выделяют в окружающую среду газы (формальдегид, метанол, фенол, фурфурол, ацетон и др.), что связано с протеканием экзотермической реакции полимеризации;

– термостойкость. Является одной из основных характеристик ХТС. В химии полимеров под термостойкостью понимают максимальную температуру, при которой сохраняются эксплуатационные свойства полимеров.

Холоднотвердеющие смеси – специальные смеси, которые после изготовления не требуют нагрева в сушильных печах. Это позволяет экономить энергию. В качестве связующего применяются искусственные смолы. Для отверждения смесей применяется продувка третичными аминами. Благодаря связующим и отвердителям, смеси самозатвердевают на воздухе за 10–15 мин. Холоднотвердеющие смеси редко применяются на нашем производстве вследствие высокой стоимости связующих и затруднительной регенерации смесей. Практика доказала, что применение ХТС для изготовления форм экономически оправдано в том случае, когда отношение массы формы к массе заливки металла не превышает 3:1. Поэтому мы используем эти смеси для изготовления стержней, позволяющих получать полости в особо точных отливках с высокими требованиями к шероховатости поверхностей. Технология литья в ХТС позволяет обеспечить высокое качество поверхности литья, отсутствие газовых раковин и включений формовочных смесей в случае обвала формы или стержня.

Главная задача, которую преследуют разработчики связующих для ХТС-процесса, – снижение выбросов при производстве литья для улучшения условий труда в литейных цехах. При этом конечной целью является достижение отсутствия выделения вредных веществ на всех переделах производства литья. Снижение уровня выделения вредных веществ связывают с использованием в качестве связующих неорганических веществ, которые должны быть разработаны для ХТС-процесса.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ШТАМПОВКЕ В ЗАКРЫТЫХ ШТАМПАХ НА ТОЧНОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

М. Д. Яньшин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Верещагин

При штамповке поковок в закрытых штампах на точность поковок оказывает большое влияние изменение объема исходной заготовки, а также технологичность конструкции детали, точность изготовления инструмента и машины, температурный режим нагрева заготовки и изменение температуры штампа его жесткости, оборудование и изменение механических свойств исходного материала.

Для определения колебания ΔH размеров поковки по высоте от действия всех факторов существует формула, полученная в результате совместного решения изменения предельного объема заготовки и предельного колебания высоты поковки:

$$\Delta H = \frac{4\Delta V}{\pi D^2}, \quad (1)$$

где ΔV – абсолютное изменение объема.

По формуле (1) А. З. Журавлевым был построен график (рис. 1), показывающий влияние различных факторов на изменение высоты поковки.

В первом квадранте показано изменение высоты поковки в результате неточности получения объема исходной заготовки из проката (ГОСТ 2590–57) при $m = 2,5$. Во втором квадранте представлено колебание размера по высоте поковки за весь период работы штампа до полного износа ручья при предельном изменении объема полости не более 2 % , при разности угара металла в 2 % и изменении температуры

системы не более $\pm 75^\circ\text{C}$. В третьем квадранте представлена условная кривая Op деформаций современного кривошипного пресса в зависимости от нагрузки

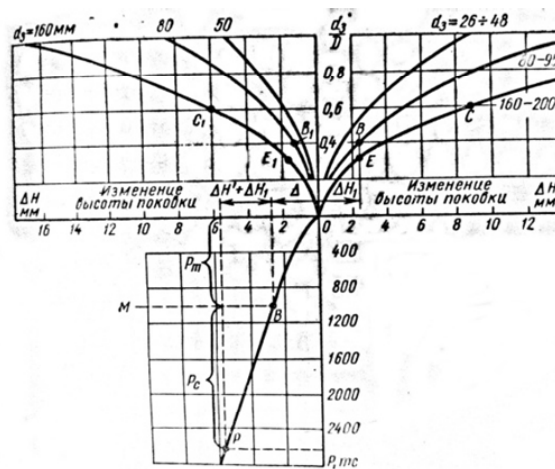


Рис. 1. Предельное изменение высоты поковки в результате неблагоприятно действующих факторов:
 d_3 – начальный диаметр заготовки; ΔH_1 – изменение высоты поковки в результате колебания размеров заготовки при $m = 2,5$; $\Delta H + \Delta H_1$ – изменение высоты поковки в результате колебания размеров заготовки, угара, температуры системы и износа ручья; D – наибольший диаметр поковки; Δ – увеличение штамповой высоты при получении поковки наименьших размеров

С увеличением жесткости поковок возрастает влияние погрешности объема и уменьшается влияние погрешности наладки. Если жесткость поковок более чем в 2 раза превышает жесткость системы пресс-штамп, тогда точность их высоты не зависит от жесткости упругих звеньев и может быть повышена уменьшением величины случайной погрешностей, например применением партийной наладки.

Режим нагрева заготовок при горячей штамповке изменяется в результате таких факторов, как:

- непостоянство давлений в сети, подводящей горючее;
- несовершенство организации загрузки в печь и выгрузки из нее;
- различная восприимчивость поверхности заготовки и химического состава металла к окислительным процессам и др.

При максимальном угаре металла должно быть достаточно, чтобы заполнить ручей и получить поковку хорошего качества. Следовательно, при разработке технологии изготовления детали необходимо учитывать максимальные потери в угар.

По данным Е. С. Богданова, М. И. Калачева и А. Н. Брюханова, колебание величины угара достигает 2–3 % от массы исходной заготовки. Средние относительные изменения размеров поковок будут одинаковыми при одинаковом колебании угара металла, а абсолютные отклонения размеров получаются у высоких поковок больше, чем у низких.

Величина коэффициента контактного трения зависит от состояния контактных поверхностей, их микрогеометрии, наличия и природы окислов и химических соединений на контактных поверхностях, образования новых поверхностей в результате выхода на поверхность внутренних слоев деформируемого металла, величины нормального давления, температуры контактных поверхностей, скорости скольжения металла в контактных поверхностях, характера приложения нагрузки. В процессе деформации эти факто-

ры не остаются неизменными, поэтому и коэффициент контактного трения является переменной величиной, точное определение которой затруднительно из-за отсутствия достаточно совершенных методов, обеспечивающих получение достоверных данных

Смазывающие материалы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- максимально снижать трение между деформируемым металлом и штампом;
- образовывать достаточно прочную разделительную пленку;
- не оказывать вредного действия на инструмент, оборудование и поковки;
- хорошо смачивать поверхность ручья и прочно удерживаться на ней и др.

Износу истиранием подвержены те элементы ручья, относительно которых деформируемый металл интенсивно перемещается и уносит с собой частицы материала инструмента, тем самым сглаживая выступы и внешние закругления полости, где размеры поковки постепенно увеличиваются или уменьшаются. Стадии установившегося износа протекают в 3-х стадиях:

1) путем постепенного развития трещин в основном по механизму термомеханической усталости;

2) пластическая деформация контактной зоны;

3) износ гравюры за счет контактного схватывания.

Как показывают наблюдения Б. Ф. Трахтенберга в работе о стойкости штампов, абразивный износ элементов ручья при горячей деформации несущественно сказывается на изменении объема поковки, однако на некоторых участках ее размеры могут быстро выйти за пределы допуска.

В ряде случаев размеры поковки довольно быстро изменяются по ширине или диаметру, поскольку штамповка часто ведется при давлении в полости, в несколько раз превышающем необходимое, которое обеспечивает заполнение всех труднодоступных участков ручья. В результате сминаются стенки, раздается штамп от больших переменных силовых и тепловых нагрузок появляются трещины.

При штамповке в открытом штампе к этому приводят недостаточно подготовленная заготовка или уменьшенные размеры толщины заусенца на мостике. При штамповке в закрытом штампе в результате несоответствия объемов инструмента и деформируемого металла его излишки могут создать большие давления в полости.

По мере износа ручья высота поволоков будет уменьшаться, а ширина – увеличиваться. Для получения количественной оценки величины и скорости раздачи необходимо вести расчеты штампов на жесткость, исходя из оптимальных технологических усилий при штамповке.

Изменение температуры рабочих органов машины влияет на размеры поковки тогда, когда подвижный и неподвижный штампы в конце штамповки жестко не смыкаются. Значит относительное удлинение элемента машины приведет к такому же уменьшению размеров поковки в направлении действия усилия машины, передаваемого этим элементом. Изменение температуры и свойств деформируемого металла скажется на изменении размеров поковки в результате дополнительной деформации штампа и отклонения его размеров от номинальных. Изменение размеров поковки в значительной степени уменьшается с внедрением механизации и автоматизации технологических процессов штамповочного производства.

С суммарным изменением температуры штампа и деформируемого металла изменится объем поковки и ее размеры в рассматриваемом направлении:

$$\Delta a = a_1 \varepsilon' t_1 + b \varepsilon t_2, \quad (2)$$

где a_1 – размер поковки в заданном направлении при номинальных температурах; ε' – относительное изменение размера в результате линейного расширения деформируемого

металла; t_1 – отклонение температуры поковки в конце штамповки от номинального ее значения; b – размер ручья в заданном направлении при номинальной температуре; ε – относительное изменение размера в результате линейного расширения штамповой стали; t_2 – отклонение температуры штампа от номинального значения.

В формуле (2) необходимо также учитывать знаки, так как увеличение температуры металла в конце штамповки приведет к уменьшению конечных размеров поковки, а повышение температуры штампа вызовет увеличение ее размеров.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Если износ ручья минимальный, и при нагреве заготовок угар остается постоянным, и температурные условия не меняются, то изменение высоты поковки зависит от колебания размеров исходной заготовки. Это можно осуществить повышением ритмичности работы при загрузке заготовок в печь и их выгрузке, и с улучшением самого нагрева уменьшатся изменения угара металла и колебания размеров поковок. Смазка оказывает комплексное влияние на стойкость штампов. Она влияет непосредственно как охладитель и снижает коэффициент трения, также понижая теплонапряженность графитов, создавая теплоизолирующую прослойку из твердого остатка и газов, выделившихся при сгорании горючих составных частей смазки. Учитывая износ истиранием, раздачу штампа и смятие стенок, заранее надо предусматривать излишний объем металла в заготовке, который при штамповке в открытом штампе автоматически входит в объем заусенца, а при штамповке в закрытом штампе увеличивает размер поковки. Изменение каждого размера поковки связаны с перемещениями элемента штампа или с деформацией узлов машины. Следовательно, колебание размеров поковки зависит от давления на штамп и от жесткости этого элемента. Следует учитывать, что точный объем исходной заготовки может не дать ожидаемого эффекта при штамповке в закрытом штампе, если не улучшать нагрев и его организацию, не понижать износ ручья и др., т. е. не повышать культуру штамповочного производства.

Литература

1. Трахтенберг, Б. Ф. Стойкость штампов и пути их повышения / Б. Ф. Трахтенберг. – Куйбышев : Куйбыш. книж. изд-во, 1964.
2. Грозин, Б. Д. Износ металлов / Б. Д. Грозин. – Гостехиздат УССР, 1957.
3. Журавлев, А. З. Основы теории штамповки в закрытых штампах / А. З. Журавлев. – М. : Машиностроение, 1973. – 224 с.
4. Соколов, Н. Л. Горячая штамповка выдавливанием стальных деталей / Н. Л. Соколов. – М. : Машиностроение, 1966. – 188 с.
5. Шапошников, Д. Е. Изготовление поковок на горячештамповочных прессах / Д. Е. Шапошников. – М. : Машгиз, 1962.
6. Истомина, П. С. Прессование / П. С. Истомина. – М. : ОНТИ, 1943.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК НА ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ INDUTHERM VC-650-V

Д. А. Кореба

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. Б. Одарченко

В современном литейном производстве особое внимание уделяется обеспечению высокого уровня и стабильности качества отливок, что гарантирует конкурентоспособность литейной продукции и высокие эксплуатационные свойства

конечных изделий. Для производства отливок с заданными эксплуатационными свойствами, формирования размерной, геометрической точности, шероховатости поверхности отливок, максимально приближенными к будущим деталям, эффективное применение находят вакуумные индукционные установки.



Рис. 1. Вакуумная индукционная установка INDUTHERM VC-650-V

Среди современных вакуумных индукционных установок следует выделить INDUTHERM VC-650-V, которая предназначена для синтезирования черных, цветных сплавов с последующим получением отливок. Принцип работы установки основан на индукционном расплавлении металлов и сплавов с последующим их сливом в форму через стопорное устройство.

Плавка цветных сплавов производится в графитовом тигле объемом 386 см³. Для черных сплавов используется специальный графитовый тигель с керамической вставкой объемом 175 см³. В данной установке применяется индукционный способ нагрева и расплавления шихты токами высокой частоты (бесконтактный нагрев электропроводящих материалов). При этом плавка сплавов с минимальным электросопротивлением (цветные) осуществляется косвенным способом нагрева. Переменный ток, протекающий по индуктору, генерирует магнитное поле, которое индуцирует ток в стенках графитового тигля. Графит, обладая хорошей электропроводностью и высоким сопротивлением, нагревается высокочастотными токами и расплавляет шихту.

Максимальная температура расплава, которую позволяет достичь данная установка, составляет 1700 °С. Контроль температуры во время плавки обеспечивает

ся двумя термопарами, находящимися в центре (в запорном штоке) и в стенке тигля, что позволяет максимально точно контролировать температуру нагрева и значительно увеличить срок службы термопары, по сравнению с погружным способом установки.

В процессе заливки используется принцип донного слива металла, благодаря чему в форму поступает только чистый сплав, так как более легкие шлаковые составляющие остаются на поверхности зеркала металла и попадают только в литниковую чашу.

Качество получаемых отливок регулируется обработкой расплава вакуумом, инертным газом, вибрацией в процессе плавки и заливки.

Вакуумирование, подача защитного газа производятся во избежание нежелательного окисления расплава при плавке, для снижения образования шлака, угара расплава. Вакуум и избыточное давление позволяют металлу протечь все самые тонкие места. Область опоки вакуумируется, а в область с расплавом нагнетается инертный газ. Это позволяет металлу одновременно втягиваться за счет вакуума и «подталкиваться» за счет избыточного давления в полость опоки, а также заливать узкие и тонкостенные места. Также лучшей заполняемости литейной формы расплавом способствует вибрация, повышая точность и равномерность заполнения.

Кроме этого, вибрационная технология при заливке позволяет уменьшить зернистость и пористость металла (размер зерна уменьшается в два раза, что способствует улучшению структуры сплава, следовательно, более стабильный результат); уменьшить вероятности появления трещин и разрывов.

Модель получают вырезанием либо заливкой специального литейного воска в силиконовую или резиновую форму. После извлечения, если необходимо, модель дорабатывается, добавляется литниковая система.

INDUTHERM VC-650-V рассчитана на получение отливок в формах из песчано-гипсовых смесей. Использование «чистого» гипса недопустимо по следующим причинам: низкая огнеупорность, склонность к образованию трещин под воздействием высоких температур. В данных смесях гипс является связующим компонентом, который свои свойства проявляет при взаимодействии с водой, а в качестве огнеупорного наполнителя могут применяться кварцевый песок, шамотный порошок. Как правило, применяются уже готовые формомассы с заданной рецептурой смеси.

В песчано-гипсовых формах получают мелкие и средние тонкостенные отливки массой от нескольких грамм до десятков килограммов. При этом гипсовые формы не подвержены короблению при заливке.

Особенностью гипсовых смесей является хорошая текучесть при добавлении в смесь воды, что позволяет сформировать точный отпечаток при формовке. Свойственная низкая теплопроводность по сравнению с известными формовочными материалами позволяет создавать направленное затвердевание. Гипсовые смеси характеризуются точным, гладким и чистым отпечатком модели в литейной форме, так как в составе смеси применяются мелкодисперсные материалы. Точность получаемых в них отливок выше, чем в более дорогих керамических формах.

Живучесть смеси, время набора манипуляторной прочности гипсовой формы варьируется введением различных добавок в смесь.

Перед заливкой гипсовые формы подвергаются обязательной прокатке по заданному циклу нагрева, это необходимо для предания необходимых служебных свойств.

Заливка расплава на индукционной установке осуществляется гипсовую форму, температура которой составляет 600 °С, что позволяет увеличить жидкотекучесть

расплава и ликвидировать образование трещин в литейной форме. Гипсовый формовочный материал после заливки легко выбивается и вымывается водой.

Технологическое преимущество вакуумных литейных установок Indutherm VC-650-V заключается в многочисленных эффективных решениях, дающих превосходные результаты, например:

- автоматическая подача защитного газа или вакуума во избежание нежелательного окисления при плавке;
- максимальный вакуум в литейной камере для безупречного литья без воздействия воздуха.

Основными преимуществами технологии вибрационного литья в целом являются:

- улучшенная структура металла, следовательно, уменьшение вероятности появления трещин и разрывов;
- уменьшается вероятность наличия включений;
- уменьшение количества заливок за счет снижения количества брака, уменьшение количества операций дальнейшей обработки, следовательно, уменьшение стоимости продукции.

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПИТАНИЯ И КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

А. Г. Дюбенков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. А. Жаранов

Цель настоящей работы – сравнительный анализ существующих и разрабатываемой алгоритмических схем автоматизации, которые могут быть использованы в САПР литейного производства для разработки и совершенствования технологического процесса изготовления отливки с целью снижения сроков проектирования технологической оснастки, включающей выбор литниковой системы, режимов заливки металла и повышения качества технологического процесса изготовления отливок.

В литейных цехах во всем мире предпринимаются большие усилия для минимизации затрат на производство для повышения их конкурентоспособности. В то же время литейные цеха должны соответствовать повышенным требованиям к качественному литью.

Одна из областей исследования, в которой можно обеспечить экономию, – это разработка эффективной литниковой системы. Цель и, пожалуй, самая важная причина для создания и проектирования литниковой системы заключается в том, чтобы транспортировать расплавленный металл в полость формы. Одно из них состоит в том, что литниковая система должна обеспечивать такие условия, чтобы поток расплава был как можно более спокойным и когерентным, но не был настолько медленным, чтобы расплав затвердевал до заполнения формы. В то же время литниковая система должна весить как можно меньше, чтобы улучшить коэффициент соотношение веса отливок и веса заливаемого металла, т. е. выход годного. Часто плохо спроектированная литниковая система может вызывать окисление расплава и его газонасыщение, что снижает качество отливки.

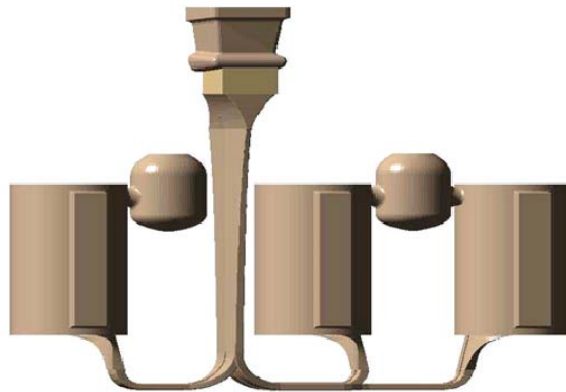


Рис. 1. Литниково-питающая система, спроектированная с применением принципов оптимизации потоков (система плавного заполнения)

В настоящее время созданы и широко используются компьютерные программы для расчета и моделирования работы прибылей. Однако они имеют существенный недостаток: не учитывают все многообразие отливок и тех факторов, которые влияют на эффективность действия прибылей. Так, например, на работу прибылей существенное влияние оказывает повышение температуры металла за счет обогрева прибылей экзотермическими элементами. Существующие программы пока еще не учитывают этот фактор вследствие недостаточной изученности всех особенностей этого процесса.

Во время проведения компьютерного моделирования при анализе заполнения форм металлом важнейшими этапами являются следующие:

- 1) подготовка исходных данных по отливке, литниковой системе, теплофизическим данным расплава, а также начальные условия заливки (температура формы и металла);
- 2) моделирование температурного поля системы «литниковая система–отливка–форма»;
- 3) моделирование поля скоростей в форме;
- 4) моделирование поля плотности кристаллизующегося металла в форме;
- 5) анализ недоливов и пористости в отливке на основе результатов моделирования поля температур скоростей и плотностей.



Рис. 2. Пример классического подхода к проектированию литниково-питающих систем

К сожалению, найти идеальный вариант литниковой системы невозможно из-за их многообразия. Но можно максимально приблизить. Для этого нужны несколько этапов разработки.

Этапы разработки могут быть представлены в следующем виде:

- 1) сформируем N вариантов технологического процесса, отличающихся литниковыми системами и начальными условиями заливки;
- 2) смоделируем N вариантов температурного поля системы «литниковая система–отливка–форма»;
- 3) смоделируем N вариантов поля скоростей в форме;
- 4) смоделируем N вариантов поля плотности кристаллизующегося металла в форме;
- 5) для N вариантов на основе поля температур скоростей и плотностей рассчитаем распределение недоливов и пористости в отливке;
- 6) на основе критериев оптимизации процесса заполнения формы построим по ранжиру варианты в сторону наилучшего с технологической точки зрения варианта.

Для реализации этапа 6 было разработано пять критериев для оценки технологического варианта.

В качестве первого критерия использован коэффициент заполняемости, который определяется как количество сеточных элементов формы, не заполненных металлом. Чем больше это количество, тем выше вероятность образования дефектов типа недолив при заполнении формы.

В качестве второго критерия используется коэффициент температуры заливки, которая является энергетической составляющей технологического варианта. Чем выше температура заливки, тем больше энергии затрачено на получение годной отливки.

В качестве третьего критерия используется коэффициент массы литниковой системы. Чем больше коэффициент массы литниковой системы, тем большее количество металла и энергии необходимо для получения годной отливки.

В качестве четвертого критерия используется коэффициент плавности заполнения формы, который определяется как сумма квадратов скоростей каждого сеточного элемента во всем временном промежутке заполнения. Чем больше этот коэффициент, тем больше абсолютная составляющая скоростного поля и выше ее влияние на стенки формы. То есть при увеличении этого коэффициента увеличивается вероятность размыва формы.

В качестве пятого критерия (коэффициент неравномерности заполнения) используется величина, равная сумме отклонений ячеечных скоростей от средней скорости в данный момент времени. Чем больше этот коэффициент, тем выше вероятность захвата воздуха и неметаллических частиц в отливку. Каждый из критериев позволяет ранжировать технологические варианты.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

И. М. Крижевский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. В. Агунович

В Республике Беларусь в силу ее малой энерго- и материалообеспеченности всегда была необходимость в современных материалах с новым комплексом свойств. Одним

из самых многочисленных, разнообразных и многообещающих видов материалов являются полимерные композиционные материалы (ПКМ). Разработка новых полимерных композитов (ПК) интересна с той точки зрения, что невысокая стоимость и коммерческая доступность термопластичных полимеров и металлических наполнителей (особенно, когда они являются отходами производства); возможность использования традиционных технологий и оборудования для получения ПК обеспечивают высокую экономичность их производства и внедрение этих материалов в машиностроение.

В ходе работы исследовались фрикционные композиты на основе фенолформальдегидных смол с металлическими наполнителями. Массовая доля металлических наполнителей в композите составляет 15 %.

Целью работы является исследование влияния структуры на трибологические характеристики фрикционных полимерных композитов.

Методика испытаний. Механические испытания проводили на машине Instron 5567. Трибологические испытания проводились на машинах трения И-32 и 2070 СМТ-1. Исследование структуры проводилось на металлографическом микроскопе «МЕТАМ РВ-22».

Результаты работы. Упрочнение фрикционных композитов на основе фенолформальдегидных смол осуществлялось металлическими наполнителями – со сферической формой частиц и короткой фиброй игольчатой формы, ориентированной в пространстве случайным образом. По расположению компонентов такая структура является анизотропной в макрообъеме всего изделия, схема армирования – хаотичная, как и ориентация армирующих элементов относительно матрицы (рис. 1). По характеру распределения компонентов – статистическая смесь.

Три основных параметра определяют структуру композитов с дисперсными наполнителями: содержание наполнителя в матрице; размер и форма частиц наполнителя; межфазное взаимодействие.



Рис. 1. Полимерный композит с наполнителем Фибра 6 после испытаний на машине трения

1. Содержание наполнителя в матрице. При наличии достаточно прочной связи на границе раздела «матрица–наполнитель», когда матрица не является хрупкой, предел текучести ПКМ увеличивается с ростом массового содержания наполнителя, но уже при относительной степени наполнения сверх 0,2–0,3 возникающие при трении перенапряженные области вокруг частиц начинают перекрываться, что облегчает разрастание трещин, и прочность такого полимера резко снижается, поэтому в нашем случае у всех рассматриваемых образцов содержание наполнителя выбрано одинаковым (15 %). При увеличении массового содержания выше 30 % связующего становится недостаточно для заполнения пространства между частицами, и в ПКМ возрастает пористость.

2. Размер частиц дисперсной фазы. Размер частиц дисперсной фазы в исследуемых образцах (см. таблицу) колеблется в широких пределах.

Металлические наполнители для полимерных композиционных материалов

Наименование наполнителя	Номер образца	Форма частиц наполнителя	Размер частиц наполнителя
Бр.НФ2-1	1	Сферическая	63–100 мкм
Фибра 2	2	Волокнистая	2 мм
Фибра 6	3	Волокнистая	6 мм

Форма частиц изменяется от сферической с гладкой поверхностью до предельно анизометричной (при армирующих волокнах – фибре).

С уменьшением размера частиц резко возрастает их общая удельная поверхность, резко растет число частиц при том же объемном содержании, а значит, уменьшается расстояние между частицами наполнителя в ПКМ и возрастает их способность к образованию агломератов. Увеличение удельной поверхности наполнителя означает увеличение межфазной поверхности в ПКМ.

Существенной отрицательной особенностью является нежелательное «загущение» фрикционного композита. При введении наполнителя, склонного к агломерации (фибра), уже при малом его содержании резко возрастает вязкость расплава, происходит рост остаточных напряжений, что приводит к неравномерности деформации и снижению механических свойств образцов.

Рассмотрим полученную диаграмму сжатия образцов (рис. 2). Очевидно, что максимальные сжимающие напряжения выдержал образец, менее способный к агломерации (со сферическим наполнителем).

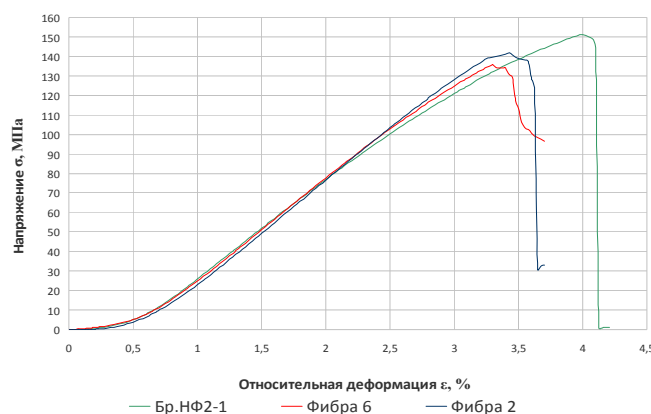


Рис. 2. Диаграмма сжатия

3. Межфазное взаимодействие. Межфазный слой, как правило, существенно отличается от матричной фазы по составу, поскольку он вбирает в себя различные включения связующего и поверхности наполнителей (армирующих волокон). Граница раздела фаз очень часто является наиболее слабым местом материала, и именно здесь начинается разрушение, как при механических нагрузках, так и при других воздействиях, например, под влиянием воды.

На основании результатов трибологических испытаний получены экспериментальные зависимости коэффициента трения и линейного износа (рис. 3, 4).

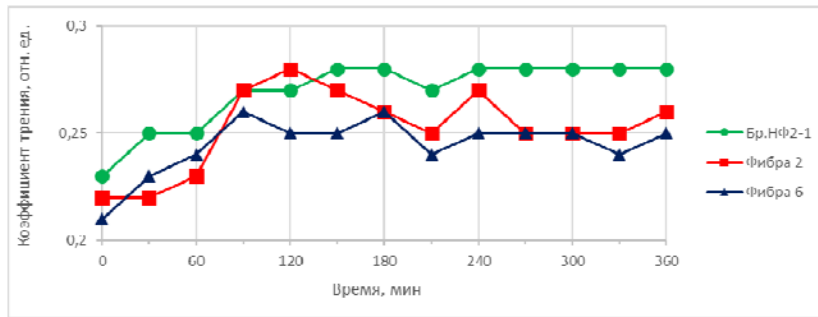


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от длительности испытания

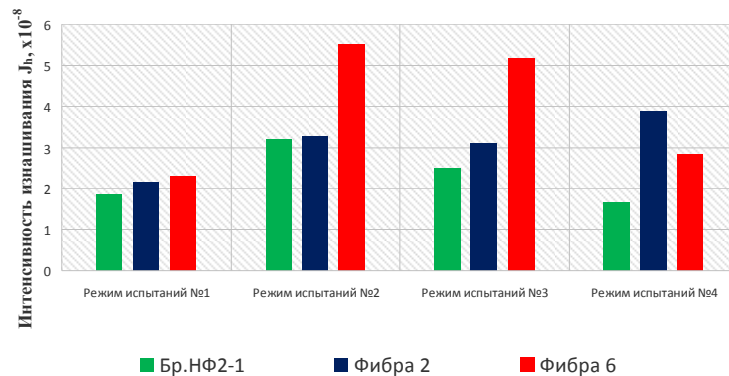


Рис. 4. Интенсивность изнашивания ПК при различных режимах испытаний

Стабильность коэффициента трения композитов, наполненных фиброй 2 и фиброй 6, меньше, чем у композитов, наполненных Бр.НФ2-1.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальная массовая доля металлических наполнителей в исследуемых композитах составляет 15%. При увеличении массового содержания выше 30% связующего становится недостаточно для заполнения пространства между частицами, и в ПКМ возрастает пористость.

2. Максимальные сжимающие напряжения выдерживают образцы, менее способные к агломерации (со сферическими наполнителями).

3. Композиты, наполненные сферическими металлическими частицами, обладают наибольшим коэффициентом трения и максимальной износостойкостью по сравнению с другими исследованными фрикционными композитами.

4. Стабильность коэффициента трения композитов, наполненных фиброй 2 и фиброй 6, меньше, чем у композитов, наполненных Бр.НФ2-1.

5. Таким образом, для узлов трения полимерные композиционные материалы лучше модифицированы сферическими частицами из Бр.НФ2-1 без использования крупнодисперсных наполнителей типа «фибра», так как это приводит к снижению прочностных характеристик композитов и коэффициента трения.

К ВОПРОСУ РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ ОПРАВОК ДЛЯ ПРОШИВКИ ЗАГОТОВОК В КОСОВАЛКОВОМ СТАНЕ ДИШЕРА

Ю. Л. Герасимов

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин,
Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Профиль прошивной оправки в сочетании с заданной калибровкой валков, а также установка оправок в очаге деформации прошивного стана оказывает основное влияние на распределение обжатий в зоне деформации, стойкость оправок, получение требуемых геометрических размеров гильз и состояние их внутренней поверхности.

В настоящее время нет общего мнения о рациональной форме оправки. Так, известны оправки с коническими, сферическими рабочими участками, а также с профилем, очерченным специальной кривой [6]. Водоохлаждаемые сферические оправки, применяемые на прошивном стане ТПА 20-168 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – ТПА 20-168), как правило, состоят из следующих участков (рис. 1): носок l_n (может отсутствовать); рабочий конус $l_{раб}$; калибрующий участок или конус поперечной раскатки l_k ; цилиндрический поясок l_c ; обратный конус $l_{о.к}$ и хвостовая часть $l_{х.ч}$.

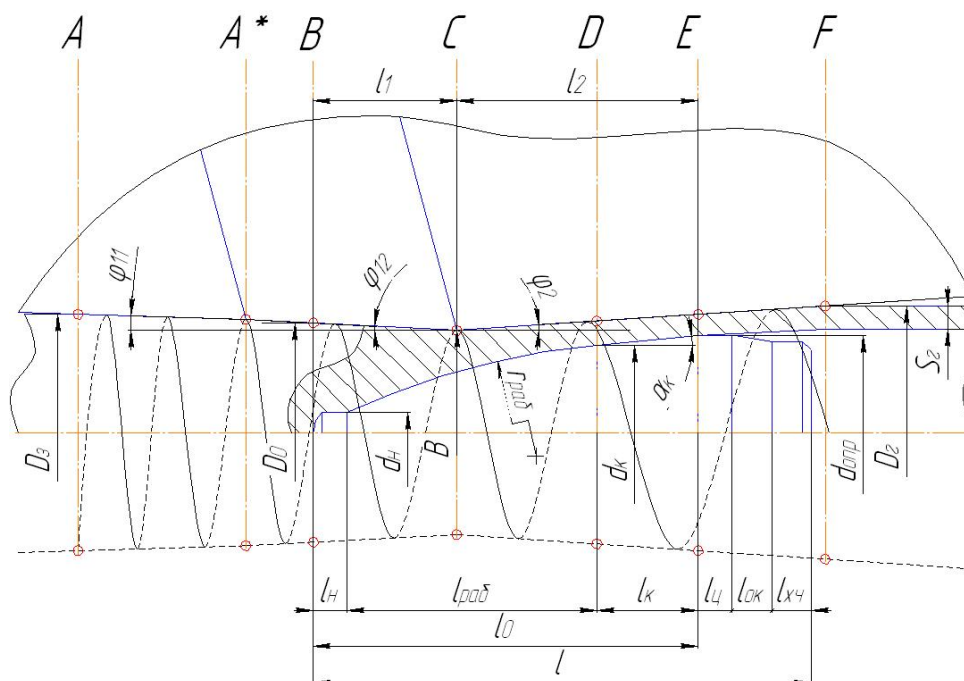


Рис. 1. Схема для расчета калибровки оправки и настройки прошивного стана ТПА 20-168 с указанием винтового движения заготовки-гильзы [3] и характерных сечений очага деформации: A – вход заготовки в валки; A^* – начало участка повышенного обжатия; B – носок оправки; C – пережим валков; D, E – начало и конец калибрующего участка; F – выход гильзы из валков

Общая длина оправки:

$$l = l_n + l_{\text{раб}} + l_k + l_{\text{ц}} + l_{\text{о.к}} + l_{\text{х.ч.}}$$

Длина оправки, участвующая в деформации:

$$l_0 = l_n + l_{\text{раб}} + l_k, \text{ или } l_0 = l_1 + l_2.$$

Для предварительных расчетов (в двухмерной постановке) используют следующие зависимости для расчета длины оправки и ее расположения в очаге деформации.

Обжатие перед носком оправки:

$$u_0 = \frac{D_3 - D_0}{D_3} 100 \% = \frac{D_3 - (B + 2 \cdot l_1 \cdot \text{tg}\varphi_{12})}{D_3} 100 \%$$

Расстояние между валками в пережиме определяется обжатием в пережиме:

$$B = D_3 \left(1 - \frac{u_n}{100} \right).$$

Область существующих режимов, согласно данным заводских таблиц прокатки (рис. 2, позиция 1), свидетельствует о значительном разбросе значений обжатий u_0 (от 7 до 10 %) и u_n (от 11 до 16 %). Область режимов, допускаемых по таблицам прокатки (рис. 2, позиция 2), включает недопустимо высокие обжатия: u_0 – до 12 %; u_n – до 17 %.

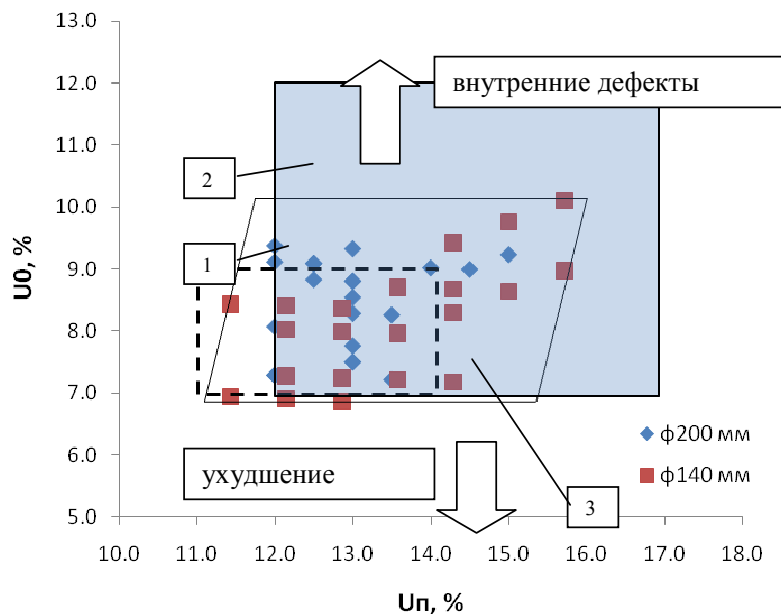


Рис. 2. Режимы прошивки для катаных заготовок диаметром 140 мм и НЛЗ диаметром 200 мм прошивного стана ТПА 20-168: 1 – фактические заводские режимы; 2 – заводские режимы, допускаемые по таблицам прокатки; 3 – предлагаемые режимы

Несмотря на стабилизацию условий захвата заготовки, использование таких высоких обжатий не всегда рационально. Например, в [7] показано, что увеличение обжатий u_0 и u_n способствует росту удельных усилий на оправке, что повышает склонность оправки к износу. Режим деформации заготовок из углеродистых и низколегированных сталей, применяемых на ТПА 20-168, должен соответствовать общепринятым рекомендациям [1], [2], обеспечивающим оптимальные условия прошивки и снижение дефектообразования на поверхности гильз (рис. 2, позиция 3). Также стоит отметить, что заводские режимы обжатий являются общими как для катаных, так и для непрерывнолитых заготовок (НЛЗ), различающиеся по своей пластичности.

Длина оправки в конусе раскатки:

$$l_2 = \frac{d_{\text{опр}} + 2 \cdot S_r - B}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}.$$

Выдвижение оправки за пережим валков выбирается по условиям первичного и вторичного захвата заготовки (для обеспечения заданных значений u_0 при выбранных значениях u_n):

$$l_1 = \frac{d_3 + (u_n - u_0)}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{12} \cdot 100}.$$

Калибровку оправки удобно охарактеризовать эмпирическими соотношениями (см. таблицу), показывающими отношение размеров основных участков к диаметру оправки. Длина рабочей части оправки (рис. 1) характеризуется отношением ее длины к диаметру оправки ($l_{\text{раб}}/d_{\text{опр}}$). Чем больше это отношение, тем ниже осевое скольжение металла и более равномерно распределено обжатие по длине оправки, следовательно, должна быть выше ее стойкость [5]. В целом длина оправки зависит от материала заготовки и калибровки валков. На осевое сопротивление оправки также влияет криволинейность профиля рабочего участка $r_{\text{раб}}/d_{\text{опр}}$. Угол калибрующего участка оправки α_k и его длина $l_k/d_{\text{опр}}$ влияют на условия скольжения металла в очаге деформации. Для стабилизации геометрических параметров гильзы и улучшения условий раскатки длина l_k должна соответствовать 1,5–2,0 полуоборотам гильзы, а угол α_k должен на 1,0–1,5° превышать угол конусности участка поперечной раскатки вала.

С 2010 по 2016 г. калибровки прошивных оправок претерпели значительные изменения, что поспособствовало увеличению их стойкости (см. таблицу). В основном это связано с применением внутреннего охлаждения оправок, интенсифицирующего теплоотвод от металла оправки в ходе прошивки, и совершенствованием профиля выходного конуса валков стана (использование меньшего угла конусности) в целях снижения деформационной нагрузки, воспринимаемых оправкой и валками по длине их рабочих поверхностей. Анализ таблицы показывает, что основные изменения в калибровке затронули оправки для прошивки катаных заготовок диаметром 140 мм. Наблюдается тенденция к увеличению длин оправок $l_{\text{раб}}/d_{\text{опр}}$, $l_0/d_{\text{опр}}$ и $l/d_{\text{опр}}$, что с одной стороны, должно способствовать увеличению стойкости оправок и скорости прошивки вследствие уменьшения осевого сопротивления и увеличения коэф-

фициента осевой скорости. Однако, с другой стороны чрезмерно большая длина оправки может привести к закату в заднем конце гильзы из-за недостатка тянущих сил трения в конце цикла прошивки. Применение широкого диапазона радиусов рабочего участка $r_{\text{раб}}/d_{\text{опр}}$ и углов конусности калибрующего участка α_k не соответствует общепринятым рекомендациям, что свидетельствует о необходимости усовершенствования нормалей заводских оправок.

Изменения геометрических параметров оправок прошивного стана

Наименование параметра	катаная заготовка диаметром 140 мм	НЛЗ диаметром 200 мм	катаная заготовка диаметром 140 мм	НЛЗ диаметром 200 мм
	2010 г.		2016 г.	
Диаметр оправки $d_{\text{опр}}$	116–96 мм	164–134 мм	120–98 мм	175–154 мм
Профиль рабочего конуса	Сферический рабочий конус радиусом $r_{\text{раб}}$ плавно сопряженный с калибрующим участком оправки l_k			
Длина рабочего конуса $l_{\text{раб}}/d_{\text{опр}}$	1,1–1,2	1,0–1,1	1,2–1,5	0,9–1,2
Радиус рабочего конуса $r_{\text{раб}}/d_{\text{опр}}$	2,5–3,1	2,1–2,8	2,5–5,4	1,9–2,8
Длина калибрующего участка $l_k/d_{\text{опр}}$	0,6–0,8	0,6–0,8	0,5–0,7	0,6–0,7
Угол калибрующего участка α_k	4°40'–4°48'	4°37'–4°55'	3°36'–5°	3°36'–5°
	Для угла выходного конуса вала $\varphi_2 = 4°30'$		Для угла выходного конуса вала $\varphi_2 = 3°48'$	
Длина оправки, участвующая в деформации $l_0/d_{\text{опр}}$	1,7–1,9	1,6–1,9	1,8–2,2	1,5–1,9
Общая длина оправки $l/d_{\text{опр}}$	1,9–2,3	1,9–2,3	2,3–2,8	2,0–2,5
Стойкость, прошивок/оправку	< 100 (нестабильные геометрические размеры гильзы)		132–270	62–258

Предлагаемый подход к проектированию калибровок оправок прошивного стана – учет особенностей процесса поперечно-винтовой прокатки на основе параметров циклического формоизменения, как это показано в [4].

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Выявлено несовершенство режимов обжатий трубной заготовки и калибровок оправок прошивного стана ТПА 20-168 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

Предложено проектирование калибровок оправок прошивного стана на основе комплексного учета параметров циклического формоизменения при поперечно-винтовой прокатке.

Литература

1. Технология производства труб / Н. И. Потапов [и др.]. – М. : Металлургия, 1994. – 528 с.
2. Данилов, Ф. А. Горячая прокатка и прессование труб / Ф. А. Данилов, А. З. Глейберг, В. Г. Балакин. – М. : Металлургия, 1972. – 576 с.
3. Емельяненко, П. Т. Теория кривой и пилигримовой прокатки / П. Т. Емельяненко. – М. : Металлургиздат, 1949. – 491 с.
4. Освоение современной технологии производства труб из непрерывнолитых заготовок в ОАО СТЗ / В. А. Топоров [и др.] // Черная металлургия. – 2013. – № 11. – С. 50–56.
5. Анализ стойкости оправок на прошивном стане Дишера / А. В. Король [и др.] // Сталь. – 2011. – № 2. – С. 59–61.
6. Исследование винтовой прокатки при прошивке заготовок / В. А. Топоров [и др.] // Сталь. – 2014. – № 6. – С. 63–66.
7. Вавилкин, Н. М. Исследование силовых условий работы оправок при прошивке в стане винтовой прокатки / Н. М. Вавилкин, В. А. Попов, А. М. Степашин // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1992. – № 7. – С. 36–39.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
И СХВАТЫВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ****Е. В. Короткевич***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. Т. Бельский

При формировании покрытия из металлического порошка его уплотнение происходит за счет скольжения частиц друг относительно друга, деформации приконтактных областей и объемной деформации.

На первой стадии плотность формируемого покрытия из порошка металла возрастает за счет лучшей укладки частиц и в меньшей мере – за счет роста их контактной поверхности. После того, когда становится невозможным дальнейший сдвиг частиц друг относительно друга без их деформации, наступает вторая стадия уплотнения.

Вторая стадия уплотнения характеризуется тем, что происходит рост контактной поверхности за счет деформации объема частиц, непосредственно прилегающих к контактам. Роль проскальзывания в уплотнении порошкового слоя на этом этапе уменьшается.

На третьей стадии процесс деформации охватывает значительную часть объема частиц, и уплотнение порошка происходит за счет истечения материала в межчастичные поры.

При формировании покрытия на длинномерном изделии с использованием порошков металлов их уплотнение также происходит в три стадии.

Рассматривая условие захвата порошка проволокой, была получена следующая зависимость для коэффициента трения между проволокой и частицами порошка:

$$f \geq \operatorname{tg} \beta - \xi \sin \beta,$$

где 2β – угол входного конуса волокна; ξ – коэффициент бокового давления.

На основании данной зависимости построена номограмма для определения требуемого коэффициента трения (рис. 1) при различных значениях бокового давления.

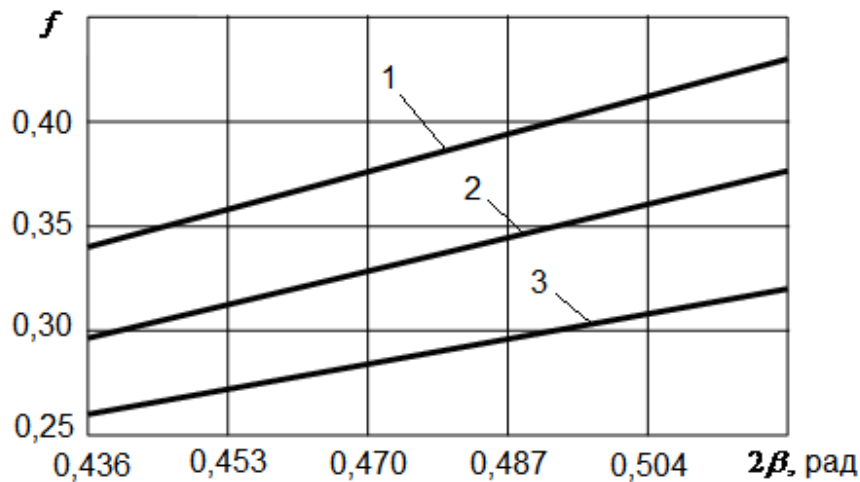


Рис. 1. Номограмма для определения требуемого коэффициента трения:
 1 – $\xi = 0,3$; 2 – $\xi = 0,4$; 3 – $\xi = 0,5$

Для реализации требуемого коэффициента трения возникает необходимость на поверхность проволоки нанести шероховатость, характеристикой которой будет глубина рисок.

Условие увлечения металлического порошка проволокой в зону деформации в этом случае будет иметь место, если выполняется неравенство:

$$\frac{F_{\text{тр}}}{A_{\text{ср}}} \leq [\tau_{\text{ср}}],$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения на поверхности контакта частицы порошка металла с протягиваемой проволокой; $A_{\text{ср}}$ – площадь среза частицы порошка; $[\tau_{\text{ср}}]$ – допускаемое напряжение на срез материала частицы порошка.

После соответствующих преобразований была получена зависимость для определения глубины риска на проволоке, при которой не наблюдается срез частицы сферической формы, в следующем виде:

$$h_p \geq r \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4\sigma_{\phi}^2}{\pi^2 [\tau_{\text{ср}}]^2}} \right),$$

где r – радиус частицы, имеющей форму сферы; σ_{ϕ} – истинное значение предела текучести металлического порошка, применяемого для формирования покрытия в процессе волочения.

Используя данную зависимость, были построены графики для определения требуемой глубины рисок в зависимости от размера сферической частицы порошка олова (рис. 2).

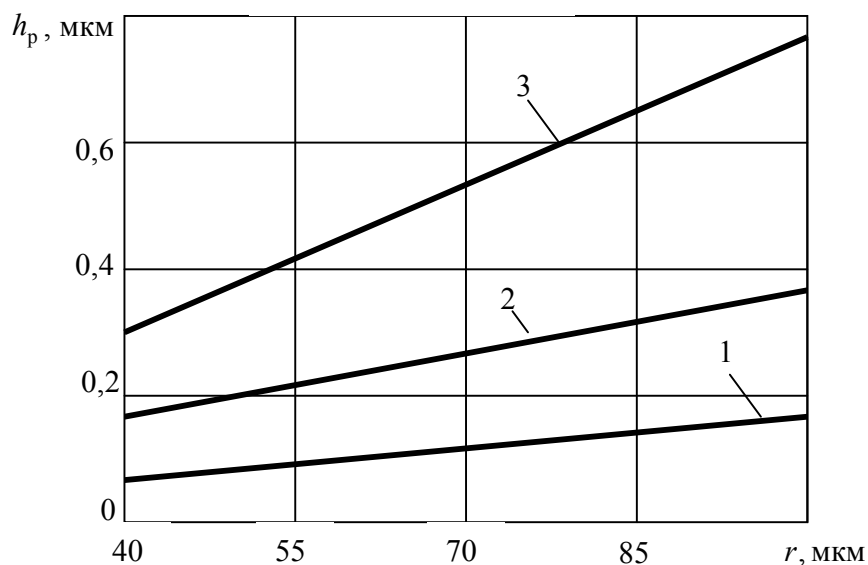


Рис. 2. График для определения требуемой глубины рисок в зависимости от размера сферической частицы порошка олова:
 $1 - m = 3$; $2 - m = 4$; $3 - m = 5$

Из анализа существующих гипотез [1]–[3] соединения металлов в твердом состоянии можно прийти к выводу, что для протекания процесса схватывания необходимо сблизить контактируемые поверхности на расстояния, соизмеримые с параметрами кристаллической решетки, а также создать условия для протекания пластической деформации в зоне контакта.

В результате исследования производства биметаллов обработкой металлов давлением были получены сведения, которые предполагают рассматривать соединение металлов в условиях совместной пластической деформации как комплексный процесс, который можно разделить на три стадии.

На первой стадии происходит развитие механической связи между слоями, обжатие неровностей поверхностных слоев, частичное разрушение оксидных пленок, а также контактирование локальных участков ювенильных поверхностей, в результате чего появляются узлы схватывания.

На второй стадии в результате превращения узлов схватывания в мостики сцепления наблюдается уменьшение свободной энергии контактирующих поверхностей и появление вблизи границы раздела зон с повышенной концентрацией вакансий, дислокаций и других дефектов строения металла.

На третьей стадии происходит превращение мостиков сцепления в межслойную границу в результате диффузионных процессов, вызванных воздействием температуры и появлением дефектов строения металлов вблизи границы раздела слоев.

Для металлического порошка характерной особенностью является наличие огромной поверхности по отношению к объему. Так, для порошков металла сферической формы отношение площади поверхности S к ее объему V составляет $\frac{3}{r}$ и, чем меньше размер частицы, тем больше это отношение увеличивается. Наличие огромной поверхности по отношению к объему способствует проявлению схватывания, так как сила сцепления прямо пропорциональна площади контактов.

По мере повышения давления контактная поверхность между частицами порошка металла возрастает, атомы сближаются, и их взаимодействие проявляется в виде сцепления.

Одна из положительных особенностей формирования покрытия из порошка металла связана с возможностью использования повышенной свободной энергии частиц порошка благодаря наличию в них высокой концентрации дефектов кристаллической решетки. Уровень этой энергии возрастает при уменьшении размера частиц и предварительной их деформации.

При формировании покрытия из порошка металла на длинномерном изделии в процессе волочения происходит пластическая деформация как частиц порошка металла покрытия, так и протягиваемой проволоки, при этом наблюдается увеличение температуры контактных поверхностей, в результате чего образуется покрытие, имеющее достаточную прочность.

Полученные зависимости для определения необходимого коэффициента трения и необходимой глубины рисок нашли подтверждения при нанесении покрытий в лабораторных условиях на проволоку из металлических порошков различных марок. При формировании покрытий использовали волочильный инструмент с различными углами входного конуса, а также применяли порошки металлов различной дисперсности.

Литература

1. Семенов, А. П. Схватывание металлов / А. П. Семенов. – М. : Машгиз, 1958. – 280 с.
2. Гельман, А. С. Основы сварки давлением / А. С. Гельман. – М. : Машиностроение, 1970. – 312 с.
3. Каракозов, Э. С. Сварка металлов давлением / Э. С. Каракозов. – М. : Машиностроение, 1986. – 280 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЯЩИЧНЫХ КАЛИБРОВ ВАЛКОВ СТАНА 370/150 ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК» НА ОБРАЗОВАНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ТРЕЩИН

А. В. Стрельченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. В. Астапенко

Целью работы является разработка численной модели прокатки в клетки № 1 стана 370/150 ОАО «БМЗ» и определение влияния геометрии ящичного калибра на образование термоциклических трещин на его выпусках».

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

1. Разработка численной модели прокатки в черновой клетки № 1 стана 370/150.
2. Анализ полученных результатов моделирования, сопоставление данных с реальным процессом. Вывод по адекватности разработанной модели.
3. Исследование с помощью адекватной численной модели температуры, контакта, давления и напряжений на поверхности калибра в черновой клетки № 1 стана 370/150.
4. Сравнительный анализ результатов, полученных при моделировании различных вариантов геометрии калибров.

Исследуемая проблема. При эксплуатации валков с ящичными калибрами существуют нерешенные проблемы, связанные с образованием сетки разгара на дне и

трещин на стенке калибра, которые приводят к уменьшению ресурса валков. Проблема вызвана термоциклическими напряжениями на поверхности калибров и неравномерным нагревом и охлаждением выпусков калибров валков.



а)

б)

Рис. 1. Чугунный валок клетки № 1:
а – сетка разгара по дну калибра; б – боковые трещины на выпуске калибра

Анализ причин образования сетки разгара по дну калибра был выполнен автором в предыдущей работе. Образование боковых трещин на выпусках ящичных калибров имеет характерные особенности, отличающиеся по причинам и механизму образования от сетки разгара. Для поиска этих причин использовался метод построения адекватной численной модели (таблица) и проведения с ее помощью численных экспериментов прокатки в клетки № 1 черновой группы стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

Исходные данные для численного моделирования

Параметр модели	Клеть № 1
Диаметр бочки валка, мм	850
Угол захвата полосы, градус	23
Высота × ширина полосы, мм	300 × 250
Скорость прокатки, м/с	0,16
Температура полосы перед прокаткой, °С	1000
Температура валков перед прокаткой, °С	20

Исследовалось влияние геометрии ящичного калибра на образование боковых трещин. Для этого было проведено три численных эксперимента с разными вариантами геометрии калибра клетки № 1 (рис. 2):

- 1) по геометрии калибра применяемой калибровки валков клетки № 1 (рис. 2, а);
- 2) с заменой радиуса выпуска на катет (рис. 2, б);
- 3) с увеличением угла и уменьшением радиуса выпуска (рис. 2, в).

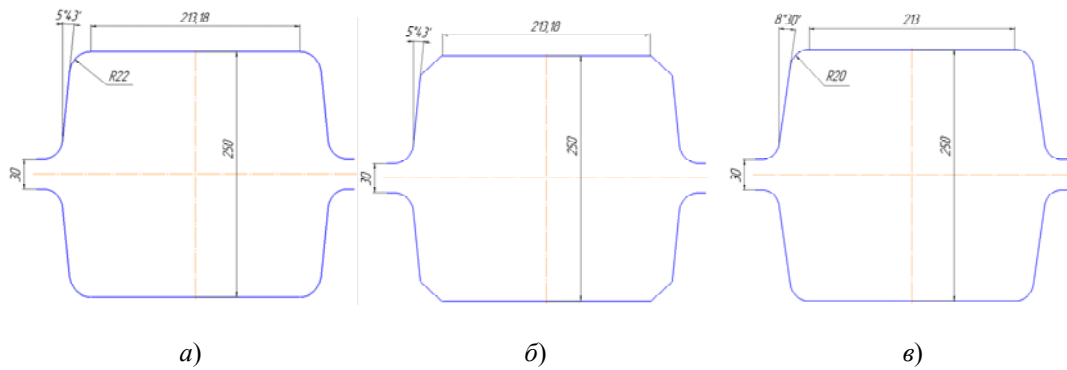


Рис. 2. Варианты геометрии калибра клетки № 1 для численного моделирования

Адекватность численной модели доказывается путем сравнения данных, полученных экспериментальным путем, и результатов численной модели, построенной по геометрии калибра действующего производства. Экспериментальная часть заключалась в снятии теплограмм калибра валка клетки № 1 СПЦ-2 ОАО «БМЗ – управляющая компания «БМК» (рис. 3, а, б).

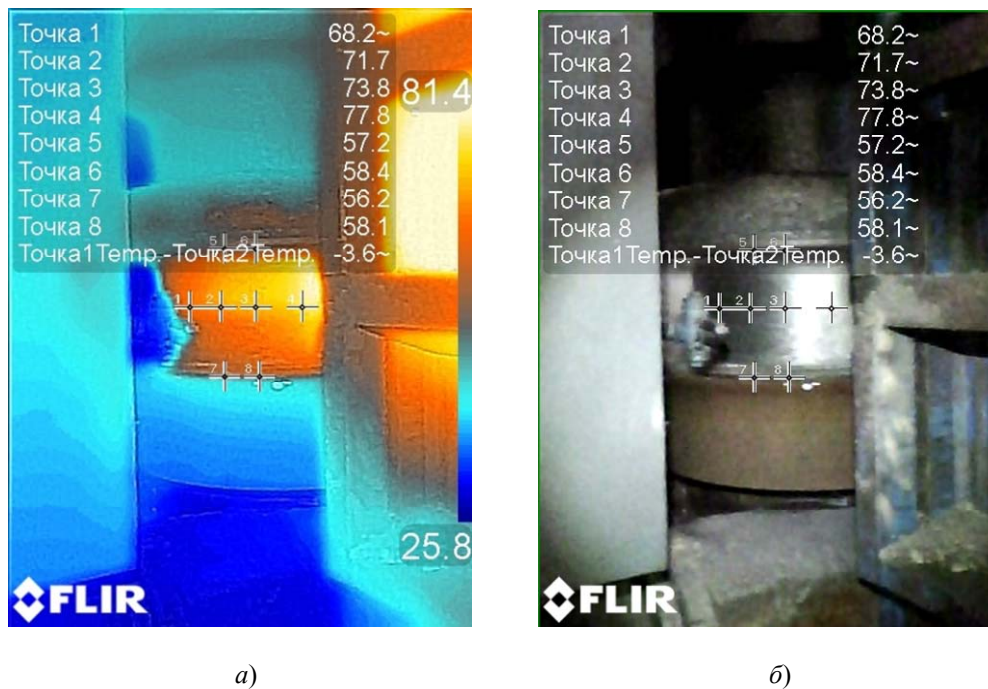
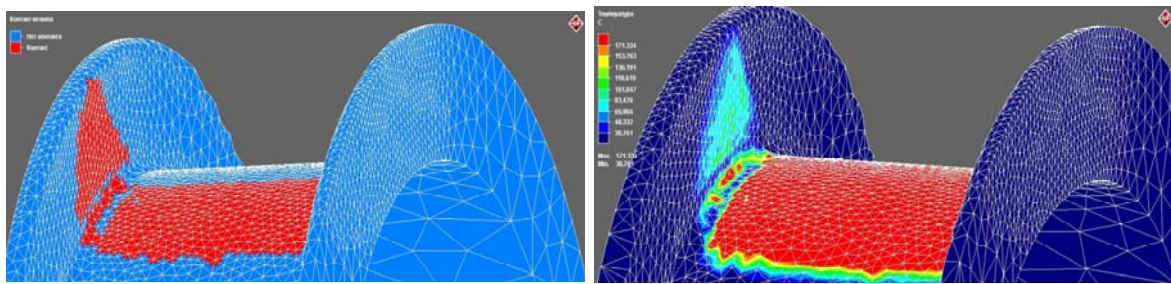


Рис. 3. Теплограмма калибра валка клетки № 1 черновой группы стана 370/150

Результаты численного эксперимента. С помощью адекватной численной модели было выполнено три численных эксперимента, в которых варьировалась геометрия выпуска калибра и оценивалось ее влияние на нагрев боковой поверхности калибра, контактное давление и контакт с полосой. Были получены следующие результаты:

1. Модель по геометрии калибра применяемой калибровки валков клетки № 1 (рис. 4).
2. Модель по геометрии калибра с заменой радиуса на катет (рис. 5).
3. Модель с увеличением угла и уменьшением радиуса выпуска (рис. 6).

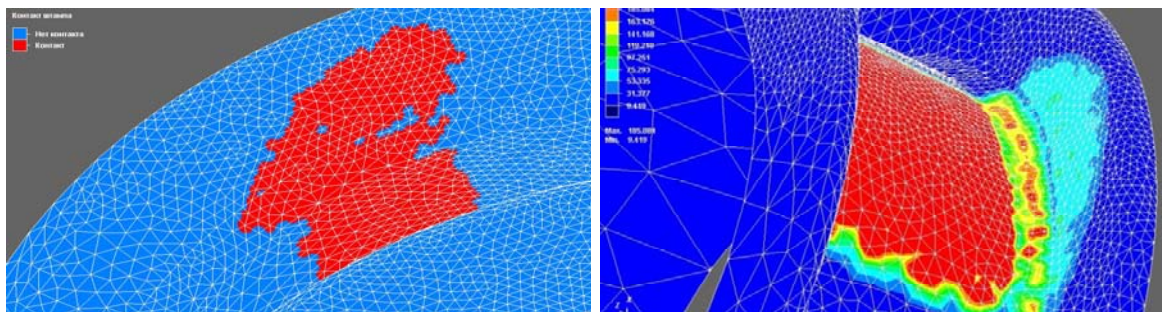


а)

б)

Рис. 4. Эксперимент 1:

а – контакт полосы с поверхностью калибра; б – температура на поверхности калибра

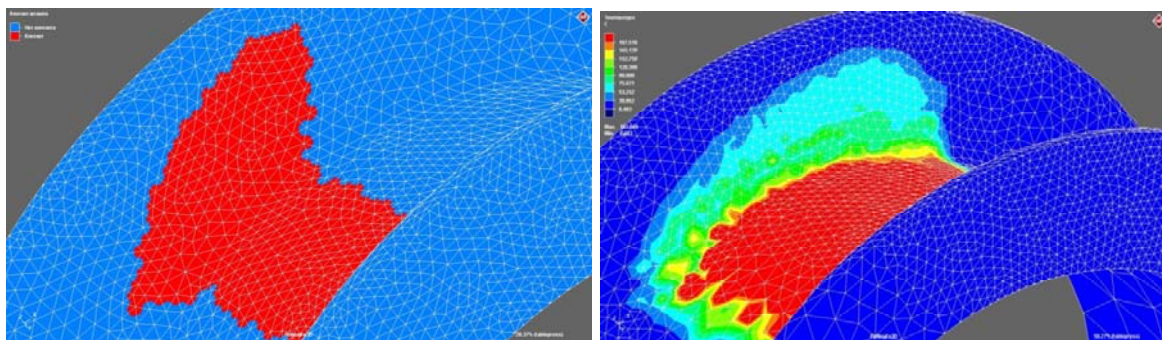


а)

б)

Рис. 5. Эксперимент 2:

а – контакт полосы с поверхностью калибра; б – температура на поверхности калибра



а)

б)

Рис. 6. Эксперимент 3 – температура на поверхности калибра:

а – контакт полосы с поверхностью калибра; б – температура на поверхности калибра

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- 1) образование боковых трещин происходит в результате неравномерного температурного расширения боковой поверхности и дна калибра;
- 2) с помощью изменения геометрии выпуска калибра можно влиять на динамику температурного расширения поверхности калибра и значительно ее уменьшить (рис. 6).

Секция III ЭНЕРГЕТИКА

ВЫБОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

С. А. Жеранов

*ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. А. Рудченко

Осветительные установки являются одними из наиболее распространенных технических устройств, которые присутствуют во всех сферах деятельности человека. Расчеты при проектировании осветительных установок, как правило, сопровождаются применением большого числа формул и перебором вариантов с целью нахождения оптимального. Использование информационных технологий для автоматизации вычислений позволяет не только ускорить процесс проектирования, но и исключить ошибки, обусловленные человеческим фактором. Автором была поставлена задача по разработке программы для автоматизации расчетов электрической части проекта осветительных установок.

Центральным ядром программы будет являться расчет сети освещения по потере напряжения. Для реализации программного продукта необходимо было разработать алгоритм работы программы.

Расчет осветительной сети по потере напряжения сводится к определению площади поперечного сечения и материала жил проводов и кабелей. Осветительная сеть по потере напряжения может быть рассчитана одним из следующих способов:

- с учетом индуктивного сопротивления проводников;
- без учета индуктивного сопротивления проводников.

Методика расчета сети освещения без учета индуктивного сопротивления проводов и кабелей в значительной степени снижает трудоемкость вычислительных работ. Данный способ расчета применим при условии достаточно высокого значения коэффициента мощности и небольших сечениях проводников. Известно, что для групповых линий с коэффициентом мощности нагрузки 0,95, выполненных проводниками с площадью сечения до 6 мм², погрешность вычислений составит не более 2 % [1].

Фактическая потеря напряжения в линии при этом будет определяться по формуле

$$\Delta U = \frac{M}{CF}, \%, \quad (1)$$

где C – коэффициент, зависящий от номинального напряжения, системы сети и рода тока; M – собственный момент участка сети, кВт · м; F – принятое стандартное сечение проводника, мм².

Однако в соответствии с [2] для групповых линий, питающих газоразрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более, допускается предусматривать аппараты защиты с уставкой тока до 63 А. Соблюдение данного требования влечет за собой увеличение сечения проводников групповой линии и, как следствие, возрастание доли реактивной составляющей в полном сопротивлении линии. Поэтому существует высокая вероятность появления погрешности, неприемлемой для инженерных расчетов.

При расчете потерь напряжения в осветительных сетях промышленных зданий следует соблюдать требование, согласно которому снижение напряжения у наиболее удаленных ламп внутреннего рабочего освещения должно составлять не более 2,5 % номинального напряжения ламп, а для аналогичных ламп аварийного освещения – не более 5 % [3]. Следовательно, во избежание нарушения требования нормативной документации следует воспользоваться методикой расчета осветительной сети с учетом индуктивного сопротивления проводов и кабелей.

Фактическая потеря напряжения с учетом индуктивного сопротивления проводников, к примеру, для трехфазной линии будет определяться по формуле

$$\Delta U = \frac{10^5 M(r_0 + x_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U_{\text{ном}}^2}, \% \quad (2)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное междуфазное напряжение сети, В; x_0 и r_0 – индуктивное и активное сопротивление принятого провода или кабеля, соответственно, Ом/км; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Именно методику расчета электрической осветительной сети с учетом индуктивного сопротивления проводников целесообразно использовать для автоматизации проектирования осветительных установок. В конечном счете, это позволит оперативно выполнить трудоемкие вычисления с наивысшей точностью при одновременном соблюдении требований нормативно-технической документации.

При выборе сечений проводников по условию нагрева необходимо учитывать поправку на фактические условия прокладки проводов и кабелей [2]. Для этого при составлении алгоритма программы следует предусмотреть возможность задания:

- фактической температуры окружающей среды;
- способа прокладки электропроводки (кабельной линии);
- количества совместно проложенных проводников.

Программа для расчета электрической осветительной сети будет представлять собой алгоритм большой сложности. Обобщенная схема алгоритма (рис. 1) раскрывает общий принцип функционирования программы для автоматизации расчетов и основные логические связи между ее отдельными модулями на уровне обработки информации.

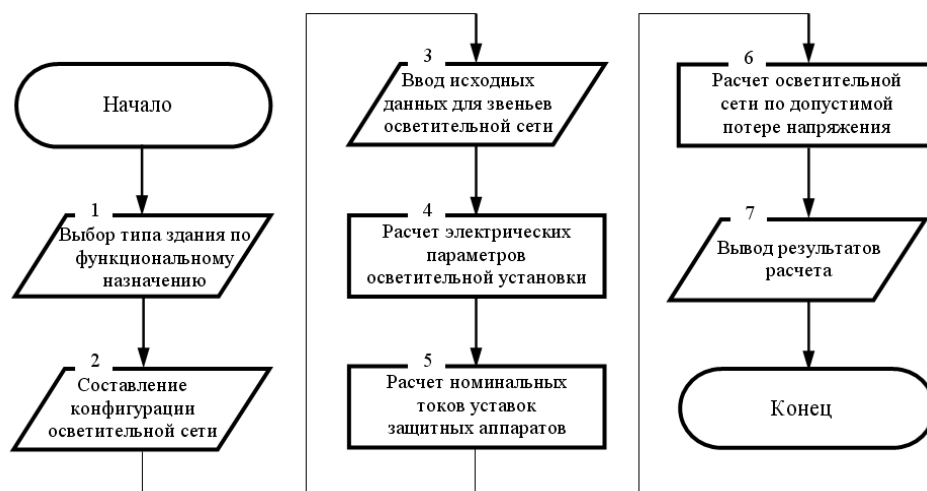


Рис. 1. Обобщенная схема алгоритма программы

Блок 1 осуществляет выбор расчетного алгоритма в зависимости от типа здания, для которого проектируется осветительная установка (общественное или промышленное). Наличие данного блока связано с тем, что для проектирования осветительных установок данных типов зданий разработаны отдельные нормативные документы, что, в свою очередь, сказывается на конечных результатах расчетов.

Блок 2 реализует автоматическую прорисовку схемы сети путем выбора шаблона конфигурации осветительной сети и задания требуемого количества элементов схемы (распределительных щитков, групповых щитков и т. д.).

В блоке 3 осуществляется ввод исходных данных, необходимых для выполнения расчета осветительной сети. Ввод данных реализован посредством заполнения пустых полей и выбора значений из выпадающего списка активного диалогового окна элемента осветительной сети.

Блок 4 выполняет расчет электрических параметров участков сети, он включает в себя совокупность выполняемых в строгой последовательности алгоритмов:

- определение электрических нагрузок;
- вычисление коэффициентов мощности;
- определение расчетных токов;
- вычисление собственных моментов;
- расчет приведенных моментов.

Блок 5 представляет собой комбинацию разветвляющегося и циклического алгоритмов расчета номинальных токов уставок защитных аппаратов. Вычисление уставок идет только по одному из имеющихся направлений, выбор которого зависит от типа аппарата защиты отходящей линии. Циклический алгоритм используется для многократного повторения действий по выбору аппарата защиты для различных участков осветительной сети.

Блок 6 содержит алгоритм выбора сечений проводников осветительной сети, который реализован в соответствии с методикой расчета осветительной сети по потере напряжения с учетом индуктивного сопротивления проводников. В блоке 6 также присутствуют «исключения», препятствующие появлению некорректных результатов расчета.

Блок 7 реализует вывод результатов расчета в удобной для восприятия форме. Для инженера-проектировщика наиболее удобным вариантом будет являться графическое отображение схем щитов с нанесением на их отходящих линиях расчетных данных.

Заключение

Анализ особенностей расчета электрической осветительной сети показал, что существуют два способа расчета: с учетом индуктивного сопротивления проводников и без его учета. В условиях автоматизации проектирования, когда математические расчеты будут выполняться посредством электронно-вычислительной машины, без участия ручного труда, целесообразно использовать методику расчета осветительной сети с учетом индуктивного сопротивления проводников. Данная методика реализована в обобщенной схеме алгоритма программы для расчета электрической осветительной сети.

Литература

1. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.
3. ТКП 45-4.04-296–2014 Силовое и осветительное электрооборудование промышленных предприятий. Правила проектирования. – Минск, 2014. – 51 с.

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВЕТИЛЬНИКОВ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ФИНАНСОВЫХ ЗАТРАТ

Д. С. Кочемазов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Д. И. Зализный

Одной из основных причин выхода из строя световых приборов являются их периодические включения-отключения. Каждая коммутация сопровождается переходными процессами импульсного характера, что негативно сказывается как на оборудовании светильника, так и непосредственно на источнике света. Особенно это актуально для газонаполненных ламп. В качестве негативных факторов выступают такие параметры, как токи высших гармоник, наводки и электромагнитные волны, тепловое воздействие и, самое главное, износ источников света и пускорегулирующей аппаратуры, в зависимости от их типов, параметров окружающей среды и питающей сети.

В данной работе предлагается методика для определения времени рационального использования осветительной установки, т. е. такого времени, при котором затраты на электроэнергию с момента включения установки будут меньше или равны приведенным затратам, обусловленным износом частей этой установки из-за одного включения. Это значит, что, снижая количество коммутаций в процессе эксплуатации систем освещения, можно снизить финансовые затраты. В работе показано, что в некоторых случаях оставить светильник во включенном положении дольше, чем требуется для конкретной ситуации, может быть выгоднее по сравнению с его периодическими включениями и отключениями.

Вначале рассмотрим упрощенный состав общих финансовых затрат на монтаж и эксплуатацию систем электрического освещения:

$$Z_{\text{сэо}} = Z_{\text{эле}} + Z_{\text{монтаж}} + Z_{\text{экс}} \cdot p, \quad (1)$$

где $Z_{\text{эле}}$ – финансовые затраты на приобретение элементов системы электрического освещения (СЭО), р.; $Z_{\text{монтаж}}$ – финансовые затраты на монтаж всех предусмотренных элементов системы электрического освещения, р.; $Z_{\text{экс}}$ – финансовые затраты на эксплуатацию элементов системы электрического освещения, р.

Затраты на эксплуатацию можно определить по формуле

$$Z_{\text{экс}} = C_{\text{эл.эн}} \cdot T_{\text{факт}} + Z_{\text{аморт}} \cdot p, \quad (2)$$

где $C_{\text{эл.эн}}$ – стоимость потребляемой устройством электроэнергии в единицу времени, р./ч; $T_{\text{факт}}$ – фактическое суммарное время работы устройства во включенном состоянии, ч; $Z_{\text{аморт}}$ – затраты на амортизационные отчисления, р.

Предположим, что остаточный ресурс осветительной установки равен:

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{норм}} \left(1 - \frac{n}{n_{\text{max}}} \right) = T_{\text{норм}} \frac{n_{\text{max}} - n}{n_{\text{max}}}, \quad \text{ч}, \quad (3)$$

где $T_{\text{норм}}$ – нормативный срок службы установки, ч; n – фактическое количество включений-отключений; n_{max} – максимальное нормируемое количество включений-отключений установки.

Тогда количество отказов N осветительной установки за время $T_{\text{факт}}$ найдем следующим образом:

$$N = \frac{T_{\text{факт}}}{T_{\text{ост}}} = \frac{T_{\text{факт}}}{T_{\text{норм}} \frac{n_{\text{max}} - n}{n_{\text{max}}}} = \frac{T_{\text{факт}} n_{\text{max}}}{T_{\text{норм}} (n_{\text{max}} - n)}. \quad (4)$$

Очевидно, что затраты на замену осветительных установок составят:

$$З_{\text{замены}} = (З_{\text{элемент}} + З_{\text{монтаж}})N = (З_{\text{элемент}} + З_{\text{монтаж}}) \frac{T_{\text{факт}} n_{\text{max}}}{T_{\text{норм}} (n_{\text{max}} - n)}, \text{ р.} \quad (5)$$

Экономически эффективное время нахождения осветительной установки во включенном состоянии будет соответствовать такому максимальному количеству включений-отключений n , при котором затраты на эксплуатацию начнут превышать затраты на замену, т. е. выполнится неравенство:

$$З_{\text{замены}} \leq З_{\text{экспл.}} \quad (6)$$

Подставив в (6) выражения (5) и (2), получим:

$$(З_{\text{элемент}} + З_{\text{монтаж}}) \frac{T_{\text{факт}} n_{\text{max}}}{T_{\text{норм}} (n_{\text{max}} - n)} \leq C_{\text{эл.эн}} T_{\text{факт}} + З_{\text{аморт.}} \quad (7)$$

Выразим из неравенства (7) параметр n :

$$n \leq n_{\text{max}} \left(1 - \frac{(З_{\text{элемент}} + З_{\text{монтаж}}) T_{\text{факт}}}{(C_{\text{эл.эн}} T_{\text{факт}} + З_{\text{аморт.}}) T_{\text{норм}}} \right). \quad (8)$$

Тогда оптимальное время нахождения установки во включенном состоянии $T_{\text{опт}}$ будет равно:

$$T_{\text{опт}} = \frac{T_{\text{факт}}}{n}, \text{ ч.} \quad (9)$$

Для более точного расчета значения времени $T_{\text{опт}}$ необходимо учитывать остаточный ресурс отдельных ламп в светильнике и в целом самого светильника.

Формулы (8) и (9) позволяют оптимизировать работу систем освещения таким образом, что при некотором возрастании затрат электроэнергии общие затраты на эксплуатацию осветительной установки будут снижены.

Таким образом, очевидно, что затраты на эксплуатацию напрямую зависят от времени, в течение которого включено электрическое освещение и, изменяя режим работы электросветильников, можно добиться изменения суммарных затрат на электроосвещение при проектировании либо непосредственно при эксплуатации.

Возможно как применение только организационных мероприятий – работа систем освещения по заранее рассчитанному графику, где время включения освещения в помещении максимально близко к $T_{\text{опт}}$, так и организационно-технических – установка систем автоматического включения-отключения светильников, датчиков движения и т. д.

В современных методах расчета электрического освещения, ввиду отсутствия заинтересованности производителей источников света, а следовательно, и углубленных исследований, направленных на увеличение продолжительности срока службы ламп, практически отсутствует информация о методах проектирования, реконструкции, эксплуатации систем освещения на основе критерия экономической эффективности. То есть конечный потребитель источников света находится в невыгодном положении ввиду отсутствия методик расчета, ориентированных на вопросы эксплуатации.

Хотя предложенная методика несколько противоречит принципам энергосбережения, она, однако, способствует ресурсосбережению, что актуально в связи с планируемым вводом Белорусской атомной электростанции и появлением избытка электроэнергии в стране.

На основе результатов расчета данной методики в части цеха производства пластмассовых изделий № 1 ЗАО «Легпромразвитие» г. Бобруйска было внедрено в производство рационализаторское предложение по оптимизации эксплуатации электрических светильников на основе времени оптимального включения $T_{\text{опт}}$, что позволило существенно увеличить срок службы источников света. Затраты на замену ламп уменьшились в три раза, соответственно, снизились расходы на утилизацию ламп, снизилось время простоя, вызванное временным отсутствием освещения в рабочей зоне, и уменьшилось количество человеко-часов на обслуживание систем освещения.

На данный момент планируется внедрение данной методики на территории нескольких цехов ОАО «Белшина», ОАО «Бобруйскагромаш» и РУП «БЗТДиА».

РАЗРАБОТКА ШКАФА ЧАСТИЧНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ

Е. Н. Куртикова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. О. Добродей

В Республике Беларусь, странах СНГ и многих других странах в настоящее время широкое распространение получила система изолированной нейтрали и система компенсированной через дугогасящий реактор нейтрали сетей 6–35 кВ. Однако данные типы заземления нейтрали имеют ряд недостатков. В настоящее время с учетом опыта эксплуатации признано целесообразным проводить модернизацию системы заземления нейтрали сетей 6–35 кВ путем заземления ее через резистор, т. е. переходить на резистивную систему заземления нейтрали.

Для реализации резистивного заземления нейтрали в составе ячеек комплектного распределительного устройства предлагается разработать шкаф частичного заземления нейтрали (ЧЗН), который соответствовал бы основным требованиям нормативных документов и обеспечивал определяющее влияние на надежность и электробезопасность сетей напряжением 6–10 кВ.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– осуществлен обзор существующих способов заземления нейтрали, рассмотрены способы реализации резистивного заземления нейтрали в составе ячеек КРУ зарубежных производителей;

- разработана программа выбора режима резистивного заземления нейтрали и величины сопротивления резистора сети 6–10 кВ;
- разработан шкаф частичного заземления нейтрали, учитывая требования, предъявляемые к ячейкам КРУ;
- разработаны схемы вторичных цепей шкафа ЧЗН.

На начальном этапе разработки был осуществлен анализ режимов заземления нейтрали в сетях среднего напряжения 3–69 кВ в различных странах мира, исходя из которого следует, что наиболее распространенным является режим заземления нейтрали через резистор или дугогасящий реактор.

Учитывая рекомендации методического указания по заземлению нейтрали сетей 6–35 кВ белорусской энергосистемы через резистор, разработана программа выбора режима резистивного заземления нейтрали и величины сопротивления резистора сети 6–10 кВ, в которой изначально пользователь выбирает необходимый режим резистивного заземления нейтрали (высокоомный или низкоомный), потом осуществляется ввод исходных данных, необходимых для расчета. Далее пользователь выбирает из предложенного перечня необходимого производителя резистора, и программа выполняет расчет. После чего появляются результаты расчета, в которых представлены номинальное сопротивление резистора и другие данные, полученные в ходе расчета.

Учитывая основные преимущества резистивного заземления нейтрали, а также рекомендации РУП «Белэнерго» (СТП 09110.20.187–09), разработан шкаф частичного заземления нейтрали, который состоит из релейного отсека и отсека подключений. В отсеке подключений находится трансформатор заземления нейтрали, обмотка высокого напряжения которого соединена в звезду с выделенной нейтралью. В электрическую цепь нейтрали подключается измерительный трансформатор тока, нейтраль заземляется через блок резисторов. Обмотка низкого напряжения соединена в треугольник и в схеме не участвует, к выводам высокого напряжения подключается ограничитель перенапряжения. Наличие релейного отсека (шкафа управления с любой схемой РЗА) определяется заказчиком.

Таким образом, шкаф ЧЗН состоит из металлического каркаса, на котором установлена дверь и размещен высоковольтный отсек, на фасадной двери введено смотровое окно; имеется внутренний контур заземления; релейный отсек (шкаф управления) располагается в передней верхней части металлокаркаса шкафа ЧЗН. Металлический каркас представляет собой клепадно-болтовую конструкцию из листовой стали толщиной не менее 2 мм с оцинкованным покрытием, что позволяет обеспечить надежное закрепление в нем всех элементов конструкции. Внутренний контур заземления выполнен из медной шины и может быть выведен для подключения к внешнему контуру заземления как с обеих сторон шкафа ЧЗН, так и с одной стороны. Все заземляемые элементы шкафа подключаются к внутреннему контуру, что обеспечивает гарантированное заземление. Шкаф ЧЗН предусматривает кабельный ввод питания как при отдельном расположении шкафа, так и при установке по торцам в общую секцию с КРУ. По способу обслуживания является двухсторонним.

Разрабатываемый шкаф частичного заземления нейтрали предназначен для присоединения к секции любого распределительного устройства напряжением 6–10 кВ, включая комплектные распределительные устройства серии РТН (производства ОАО «Ратон»), а также КРУ других заводов-изготовителей. Шкаф ЧЗН может быть установлен по торцам секции КРУ, указанных выше серий, или стоять отдельно в помещении РУ, где есть свободное место.

Основные технические характеристики разрабатываемого шкафа частичного заземления нейтрали представлены в таблице.

Основные технические характеристики шкафа ЧЗН

Наименование параметра		Значение параметра	
Номинальное напряжение сети, кВ		6	10
Технические параметры трансформатора	Тип	ТСНЗ (возможен другой тип)	
	Номинальная мощность, кВА	Определяется заказчиком	
	Номинальное напряжение, кВ	6/0,4	10/0,4
Технические параметры трансформатора	Напряжение к.з., %	5,5	
	Схема соединения обмоток	У/Д	
	Климатическое исполнение	УЗ	
Технические параметры резистора	Тип резистора	РЗ (возможен другой тип)	
	Активное сопротивление R , Ом	100 (для резистора типа РЗ)	150 (для резистора типа РЗ)
	Допустимые токи через резистор при однофазном замыкании	40 А в течение 1,5 с 5 А в течение 1 ч 3,5 А в течение 2 ч	
Тип ограничителя перенапряжения		Определяет заказчик	
Тип трансформатора тока		Определяет заказчик	
Габаритные размеры шкафа, мм (ширина × глубина × высота)		950 × 1430 × 2500	
Масса комплектного устройства, кг		900	

Для данного шкафа частичного заземления нейтрали были разработаны схема электрическая принципиальная, а также монтажная схема вторичных цепей шкафа ЧЗН. Была спроектирована 3D-модель шкафа ЧЗН.

Можно отметить следующие основные преимущества разработанного шкафа ЧЗН: комплектное изделие заводской готовности, позволяющее реализовать резистивное заземление нейтрали в любой сети 6–10 кВ; мобильность; простота обслуживания; устойчивость к коррозии; защита персонала от прямого прикосновения к токоведущим частям шкафа; взрывобезопасность (охлаждение и изоляция резистора воздушные).

Литература

1. СПП 09110.20.187–09 Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6–35 кВ белорусской энергосистемы через резистор.
2. Титенков, С. С. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю / С. С. Титенков, А. А. Пугачев // Энергоэксперт. – 2010. – № 2. – С. 36–43.
3. Виштибеев, А. В. О резистивном заземлении нейтрали в сетях 6–35 кВ / А. В. Виштибеев, К. П. Кадомская // Энергетик. – 2001. – № 3. – С. 33–34.
4. ГОСТ 14693–90 Устройства комплектные распределительные негерметизированные в металлической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия. – М., 1990. – 27 с.
5. ГОСТ 12.2.007.4–96 Система стандартов безопасности труда. Шкафы негерметизированных комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций. Требования безопасности. – Минск, 2006. – 11 с.

КОМПЛЕКСНЫЙ РАСЧЕТ ВНУТРИЗАВОДСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 6–10 КВ

Е. А. Пастерняк

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. Г. Ус

Система электроснабжения предприятий, состоящая из сетей напряжением 6–10 кВ, трансформаторных подстанций, служит для обеспечения требований производства путем подачи электроэнергии от источника питания к месту потребления в необходимом количестве и соответствующего качества.

Характерной особенностью систем внутризаводского электроснабжения является многообразие и большой объем информации. Это предполагает внедрение каких-либо вычислительных компонентов, которые позволили бы на базе исходной информации о системе электроэнергии, а именно: конфигурационной и информационной модели, получить максимум полезной информации.

В рамках темы предлагаем программу для комплексного расчета режимов внутризаводских электрических сетей 6, 10 кВ. В ней учтена специфика этих сетей, особенности их информационного обеспечения, наличие специального электрооборудования, возможность распределения электроэнергии на двух и более напряжениях.

Наименование начала	Наименование конца	Марка кабеля	длина линии (км)	Тип синхронного двигателя	Время вкл	Тип трансф	Нагрузка конца участка сети	Сопротивление участка активн	Сопротивление участка реактивное
ПП2-С1	ПП2-С1		0		0		0	0	0
ПП2-С1	ЗРП1-С1	ЗАШв185	0,5		0		0	0,028	0,013
ЗРП1-С1	КТП1-Т1	ААШв95	0,17		0		0	0,05542	0,01411
КТП1-Т1	КТП1-С1		0		6168	ТМЗ-1000	18,872380952381	1,9845	6,06375
ЗРП1-С1	Д6	ААШв95	0,1	СТД-1600			-56,2	0,0326	0,0083
ЗРП1-С1	Д8	ААШв95	0,1	СТД-1600			-62,5	0,0326	0,0083
ЗРП1-С1	Д9	ААШв95	0,1	СТД-1600			-10,2	0,0326	0,0083
РП1-С1	РП1-С1						0	0	0
ПП2-С3	ЗРП1-С2	ЗАШв185	0,5		0		0	0,028	0,013
ЗРП1-С2	КТП1-Т2	ААШв95	0,5		0		0	0,163	0,0415
КТП1-Т2	КТП1-С2		0		6168	ТМЗ-1000	52,4698412698413	0,71442	2,18295
ЗРП1-С2	Д5	ААШв95	0,1	СТД-1600			-4,1	0,0326	0,0083

Добавить элемент Очистить

Базисная мощность: Базисное напряжение: $\sin\phi$: Мощность батарей (кВАр): Применить

Рис. 1. Внешний интерфейс программы

Исходными данными для расчета по программе являются:

- а) информация об источнике питания электрической сети;
- б) справочная информация о проводах, кабелях, трансформаторах и синхронных двигателях на напряжения 6, 10 кВ;
- в) информация об электрической сети;
- г) мощность батарей, кВАр.

Информация об источнике питания записывается по секциям 6, 10 кВ и включает в себя следующие сведения:

- а) наименование источника питания;
- б) действительное напряжение на шинах, кВ;
- в) годовое время использования наибольшей активной нагрузки, ч/год;
- г) сопротивление системы, приведенное к базисным условиям.

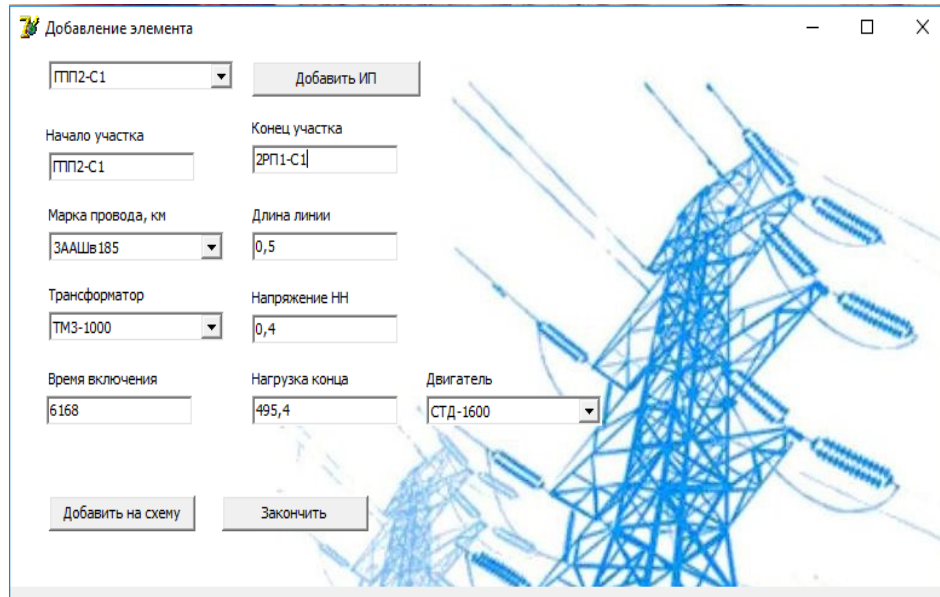


Рис. 2. Вид интерфейса для ввода данных

В результате расчета по программе определяется: нагрузка и загрузка линий, трансформаторов, потери напряжений в них, напряжение в узлах сети, ток трехфазного короткого замыкания в каждом узле, потери мощности и энергии в линиях и трансформаторах отдельно, потери холостого хода, нагрузочные и суммарные. Для всей сети определяются потери мощности и энергии. Также производится расчет компенсации реактивной мощности.

	А	В	С	Д	Е	Г	Н	И	
1	Начало участка	Конец участка	Нагрузка участка, А	Загрузка участка, отн. ед.	Потери напряжения, кВ	Напряжение в конце участка, кВ	Ток короткого замыкания, кА	Потери мощности, кВт	Потери энергии, кВт.ч
2									
3	ПП2-С1	2РП1-С1	148,7	0,16	0,008	10,492	7,5	1,86	1761,5
4	2РП1-С1	1КТП1-Т1	19,8	0,1	0,002	10,49	5,6	0,07	61,9
5									
6	2РП1-С1	Д6	56,2	0,27	0,003	10,489	6,3	0,31	292,9
7	2РП1-С1	Д8	62,5	0,3	0,004	10,488	6,3	0,38	362,2
8	2РП1-С1	Д9	10,2	0,05	0,001	10,491	6,3	0,1	9,6
9									
10	ПП2-С3	2РП1-С2	37,2	0,04	0,002	10,49	5,7	0,12	110
11	2РП1-С2	1КТП1-Т2	33,1	0,16	0,01	10,488	5,5	0,53	506,6
12									
13	2РП1-С2	Д5	4,1	0,02	0,001	10,498	5,7	0,01	1,6
14									
15									
16									

Рис. 3. Пример результата расчета распределительной электрической сети

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Начало участка	Конец участка	Нагрузка тр.	Загрузка тр.	откл.ед.Ток кз, кА	Потери мощности XX, кВт	Потери мощности нагрузки, кВт	Суммарные потери мощности, кВт	Потери энергии XX, кВт.ч	Потери энергии нагрузки	Суммарные потери энергии, кВт.ч
2											
3											
4											
5	1КТП1-Т1	1КТП1-С1	495,4	0,34	22,8	3,3	1,43	4,73	20354,4	3339,5	21713,9
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12	1КТП1-Т2	1КТП1-С2	826,4	0,57	22,7	3,3	3,99	7,29	20354,4	3783,1	24137,5
13											

Рис. 4. Пример результата комплексного расчета трансформаторов

	A	B	L	M	N
1	Начало участка	Конец участка	Реактивная мощность, кВАр	Количество батарей, шт.	Остаток реактивной мощности, кВАр
2					
3					
4					
5	1КТП1-Т1	1КТП1-С1	4719,318835	47	9,318835383
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12	1КТП1-Т2	1КТП1-С2	7872,517331	78	2,517330562
13					
14					
15					

Рис. 5. Пример результатов расчета компенсации реактивной мощности

Исходные данные для решения задачи:

- нагрузка и загрузка участка предназначены для управления распределением электроэнергии;
- потери напряжения и напряжение в конце участка предназначены для обеспечения достаточного качества электроэнергии;
- ток короткого замыкания предназначен для эпизодической проверки элементов системы электроэнергии на термическую и динамическую стойкость;
- потери мощности и энергии предназначены для рационального использования электроэнергии.

Компенсация реактивной мощности снижает потери активной мощности за счет ее компенсации.

Разработка этой задачи велась следующим образом. Задается единичная мощность конденсаторных установок, и для предприятия рассматривается два режима летнего и зимнего рабочего дня. Производятся расчеты для дневного и ночного режимов работы. В итоге программа выдает рекомендации по подключению конкретной мощности конденсаторных установок к каждому трансформатору цеховой подстанции для этих различных режимов.

Изменяя конфигурацию электрической сети с учетом регулирования напряжения в ее узлах, а также требований к компенсации реактивной мощности, можно находить варианты схем сети, обеспечивающие минимальные потери электроэнергии в ней.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ПКТ И ПКЭ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10/0,4 КВ

О. С. Левкина

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алферова

В распределительных пунктах (РП) для защиты силовых трансформаторов в основном применяются силовые выключатели, где, кроме коммутации тока нагрузки, должна выполняться также и защита участков распределительной сети от токов КЗ. В трансформаторных подстанциях (ТП) используются выключатели нагрузки, в функции которых входит только коммутация токов нагрузки. Между тем в последнее время в ТП взамен выключателей нагрузки в бесфидерной сети зачастую устанавливаются силовые выключатели для устранения дальних коротких замыканий при возможном несрабатывании защиты вводного выключателя в центре питания.

Таким образом, область применения силовых выключателей расширена до максимально возможных пределов, что не всегда оправдано и влечет за собой очень большие финансовые затраты, а выключатели нагрузки используются лишь для коммутации токов нагрузки или обеспечения видимого разрыва.

Однако правильное использование такого защитного аппарата, как высоковольтный токоограничивающий предохранитель, может существенно сократить применение силовых выключателей, заменив их, где это возможно, комбинацией «выключатель нагрузки – предохранитель» («ВН–Пр»), и, соответственно, расширить область применения выключателей нагрузки.

Данное техническое решение является популярным во всем мире, о чем свидетельствует наличие стандарта МЭК 62271–105, разработанного в целях международной унификации «ВНП».

В электроустановках напряжением 6–10 кВ с целью их удешевления и повышения надежности вместо выключателей и релейной защиты могут применять плавкие предохранители в случае, когда они выбраны с требуемыми параметрами, обеспечивая селективность и чувствительность, не препятствуют применению необходимой автоматики.

Основные параметры выбора плавких предохранителей:

- номинальное напряжение предохранителя должно соответствовать номинальному напряжению сети;
- номинальный ток должен соответствовать соответствующей нагрузке;
- предельно отключаемый ток предохранителя должен быть меньше токов короткого замыкания в сети;
- выполнение условия селективности;
- выбранный предохранитель должен соответствовать среде, в которой он должен быть установлен (внутренней или наружной установке).

Предохранители высоковольтные токоограничивающие типа ПКТ предназначены для защиты силовых трансформаторов, воздушных и кабельных линий, в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 и 60 Гц с номинальным напряжением от 3 до 35 кВ и рабочими токами от 2 до 400 А.

Расшифровка условного обозначения высоковольтных предохранителей.

Например: ПКТ101-10-16-20 У1:

- П – предохранитель;
- К – с кварцевым наполнителем;
- Т – для силовых трансформаторов;
- 1 – однополюсный, с указателем срабатывания;
- 01 – конструктивное исполнение контакта;
- 10 – номинальное напряжение в киловольтах;
- 16 – номинальный ток предохранителя в амперах;
- 20 – номинальный ток отключения в килоамперах;
- У – климатическое исполнение;
- 1 – категория размещения [1].

Отключение тока короткого замыкания в предохранителях с кварцевым наполнителем (песком) обеспечивается за счет интенсивной деионизации дуги, возникающей на месте пролегания плавкой вставки, в узких щелях между песчинками наполнителя. Для уменьшения температуры плавления вставки используется также металлургический эффект [2].

Предохранители высоковольтные токоограничивающие типа ПКЭ предназначены для защиты силовых электрических цепей, трансформаторов напряжения в сетях переменного тока частоты 50 Гц и используются в основном в качестве комплектующих изделий для экскаваторов и передвижных автоэлектростанций.

В отличие от предохранителей ПКТ они рассчитаны на эксплуатацию в условиях тряски и вибраций, что возможно при ударах и вибрациях, вызываемых коммутациями выключателя нагрузкой.

Стоимость силовых выключателей с приводами довольно велика. А с учетом необходимых для управления выключателем трансформаторов тока и релейной защиты стоимость современного распределительного устройства вообще получается очень высокой. В этой связи к числу неоспоримых достоинств ВНП относится то, что для срабатывания ВНП не требуется установка релейной защиты, подобная той, которая дает команду на срабатывание силового выключателя. Предохранитель одновременно сочетает в себе и функцию индикации момента нарастания тока, и саму функцию отключения тока КЗ. В последних сериях ВНП уже есть возможность телеуправления, например, в научно-внедренческом обществе с ограниченной ответственностью «ИНОСАТ–ЭНЕРГО».

Кроме того, к достоинствам токоограничивающих предохранителей как коммутационных аппаратов относится также их быстродействие и способность отключать очень большие токи с ограничением их максимальной величины до значений, существенно меньших амплитуды ожидаемого тока короткого замыкания. В свою очередь, этот эффект приводит к резкому уменьшению электродинамических и электротермических воздействий тока на защищаемое оборудование, повышая надежность его работы и создавая возможность уменьшения его габаритов, т. е. применение комбинации выгодно со всех точек зрения.

Проработка методики выбора параметров ВНП, а также широкий обзор представленной информации по техническим данным предохранителей будут способствовать большему пониманию данной проблемы и, соответственно, более широкому внедрению ВНП для защиты электрических сетей, что позволит во многих случаях заменить дорогостоящие силовые выключатели. Особенно популярным может быть применение ВНП в городских сетях, где имеется достаточное резервирование и где предохранитель легко заменяется.

Литература

1. Предохранители ПКТ, ПКН, ПКЭ, ПКЭН. – Режим доступа: http://aenergetika.ru/predohraniteli_pkt_pkn.
2. Плавкие высоковольтные предохранители ПКТ, ПКН, ПВТ в сельских распределительных сетях. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/uchet/343-plavkie-vysokovoltnye-predokhraniteli.html>.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МЕТОДОМ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

А. О. Внукова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. В. Соленков

Известно, что в трансформаторах, электрических машинах, устройствах автоматики и вычислительной техники применяются магнитомягкие материалы, гистерезисные петли которых имеют малые площади, а основная кривая намагничивания – круто изменяющийся характер.

Расчет электрических цепей переменного тока, содержащих индуктивные катушки с сердечниками из упомянутых материалов, обычно производят с помощью метода кусочно-линейной аппроксимации [1], [2]. При этом для облегчения расчетов основную кривую намагничивания заменяют (аппроксимируют) идеальной прямоугольной, линейные участки которой совпадают с осями координат (рис. 1, а).

При перемагничивании сердечника катушки изменяется только индукция B (от $-B_m$ до $+B_m$), а в намагниченном состоянии – только напряженность H .

Так как потокосцепление Ψ пропорционально индукции B в сердечнике ($\Psi = w s B$, где w – число витков катушки; s – сечение сердечника), а ток i – напряженности H магнитного поля (по закону полного тока $i = \frac{l}{w} H$, где l – длина средней силовой линии поля в сердечнике), то вебер-амперная характеристика индуктивной катушки качественно повторит основную кривую намагничивания $B(H)$ (рис. 1, б).

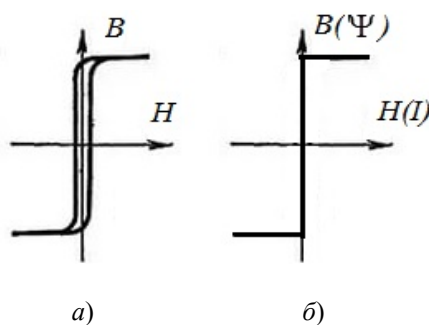


Рис. 1. Петля гистерезиса магнитомягкого материала и аппроксимированная основная кривая намагничивания

В настоящем докладе рассмотрены особенности расчета цепи с упомянутыми выше индуктивными катушками при периодическом напряжении, отличающемся от гармонического.

В схеме на рис. 2 параллельно с индуктивной катушкой включено нелинейное активное сопротивление с симметричной ВАХ.

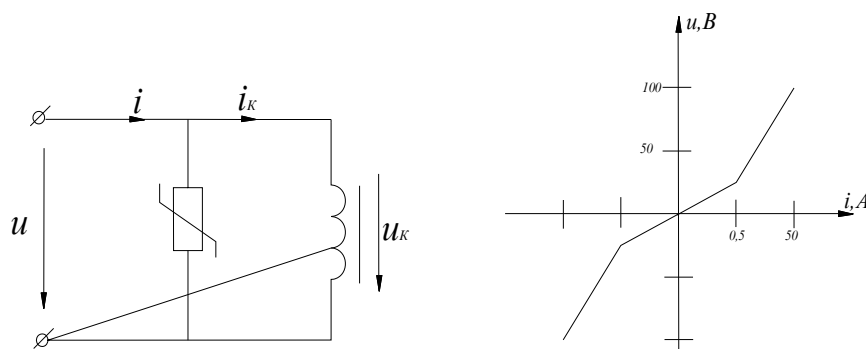


Рис. 2. Схема электрической цепи и вольт-амперная характеристика нелинейного активного сопротивления

Если по сопротивлению протекает синусоидальный ток $i = I_m \sin \omega t$, напряжение на этом сопротивлении, равное напряжению на катушке, можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} u_1(\omega t) &= U_{m1} \sin \omega t = r_{д1} I_m \sin \omega t && \text{при } 0 \leq \omega t \leq \omega t_1 \\ & && \text{и } \pi - \omega t_1 \leq \omega t \leq \pi; \\ u_2(\omega t) &= U_{m2} \sin \omega t - U_0 = r_{д2} I_m \sin \omega t - U_0 && \text{при } \omega t_1 \leq \omega t \leq \pi - \omega t_1, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $r_{д1} = \Delta u_1 / \Delta i_1$ и $r_{д2} = \Delta u_2 / \Delta i_2$ – дифференциальные сопротивления нелинейного резистора; $\omega t_1 = \arcsin i_{из} / I_m$ – угол, соответствующий точке излома ВАХ нелинейного резистора.

Пусть перемагничивание сердечника катушки заканчивается в момент времени, соответствующий углу ωt_2 . Тогда в интервале $0 \leq \omega t \leq \omega t_2$ напряжение на катушке будет равно:

$$u_k = \frac{d\Psi}{dt}, \quad (2)$$

откуда

$$\Psi(t) = \int_0^t u_k dt + C, \quad (3)$$

где C – постоянная интегрирования, характеризующая состояние катушки в момент, когда $\omega t = 0$; как и ранее можно принять, что $C = -\Psi_m$.

С учетом (1) равенство (3) можно преобразовать к виду:

$$\Psi(\omega t) = \frac{1}{\omega} \int_0^{\omega t_1} u_1(\omega t_1) d\omega t + \frac{1}{\omega} \int_{\omega t_1}^{\omega t} u_2(\omega t) d\omega t - \Psi_m =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\omega} \int_0^{\omega t_1} U_{m1} \sin \omega t d\omega t + \frac{1}{\omega} \int_{\omega t_1}^{\omega t} [U_{m2} \sin \omega t - U_0] d\omega t - \Psi_m = \\
&= -\frac{U_{m2}}{\omega} \cos \omega t - U_0 t + \Psi^* - \Psi_m,
\end{aligned} \tag{4}$$

где $\Psi^* = -\frac{U_{m1}}{\omega} \cos \omega t_1 + \frac{U_{m1}}{\omega} + \frac{U_{m2}}{\omega} \cos \omega t_1 + U_0 t_1$.

Для определения ωt_2 воспользуемся равенством (4), учитывая, что при $\omega t = \omega t_2$ потокосцепление $\Psi(\omega t) = \Psi_m$.

Получим:

$$-\frac{U_{m2}}{\omega} \cos \omega t - U_0 t + \Psi^* - 2\Psi_m = 0. \tag{5}$$

Последнее уравнение является трансцендентным и точного аналитического решения не имеет. Величина ωt_2 может быть определена численным методом либо с применением ЭВМ.

В интервале $\omega t_2 \leq \omega t \leq \pi$:

$$\Psi(\omega t) = \Psi_m, \quad u_k = \frac{d\Psi_m}{dt} = 0 \quad \text{и} \quad i_k = I_m \sin \omega t.$$

Возможный характер изменения потокосцепления Ψ , тока i и напряжения u_k на катушке показан на рис. 3.

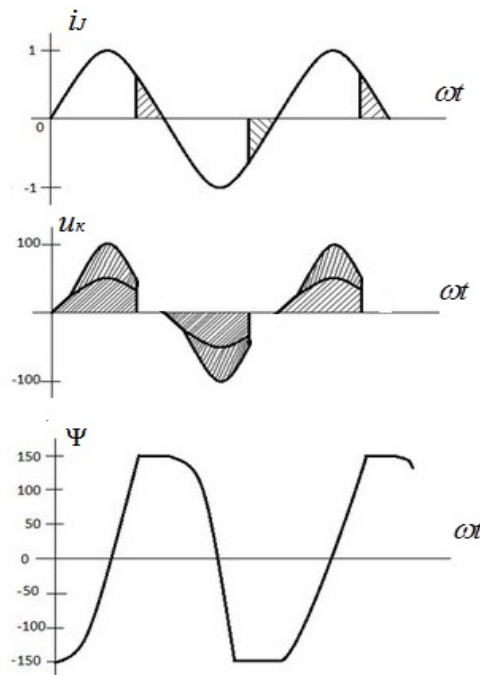


Рис. 3. Кривые тока $i(\omega t)$, напряжения $u_k(\omega t)$ и потокосцепления $\Psi(\omega t)$

Литература

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для электротехн., энергет., приборостроит. специальностей вузов / Л. А. Бессонов. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1996.
2. Бессонов, Л. А. Нелинейные электрические цепи : учеб. пособие для втузов / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1977.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР**А. С. Говор, В. В. Какора***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Я. О. Шабловский

Полезная модель относится к области преобразования тепловой энергии в электрическую. Термоэлектрический генератор предлагаемой конструкции может быть использован для электропитания средств связи, сигнализации и малоточных электроприборов за счет утилизации сбросовой теплоты труб горячего водоснабжения жилых и производственных помещений.

Целью настоящей полезной модели является повышение эффективности термоэлектрического преобразования энергии при одновременном упрощении и удешевлении конструкции термоэлектрического генератора.

Поставленная задача решается тем, что в термоэлектрическом генераторе, содержащем термоэлектрическую батарею, систему нагрева горячих спаев, систему охлаждения холодных спаев и два монолитных теплообменника, система нагрева горячих спаев и система охлаждения холодных спаев являются гидравлическими, а теплообменники выполнены в виде монолитных труб с внутренней дюймовой резьбой на концах для врезки в трубы водоснабжения и выступом на образующей для теплового контакта с спаями термоэлектрической батареей.

На рис. 1 представлен чертеж термоэлектрического генератора.

На рис. 2 показана возможная схема установки термоэлектрического генератора.

На рис. 3 представлен вид спереди теплообменника 2.

На рис. 4 представлен вид сбоку теплообменника 2.

На рис. 5 представлен вид сверху теплообменника 2.

На рис. 1 представлен термоэлектрический генератор, который имеет термоэлектрическую батарею 1, теплообменники 2 и контактные зажимы 3. Теплообменники 2, выполненные в виде монолитных труб с выступом на образующей, имеют на торцах внутреннюю дюймовую резьбу для врезки в трубы горячего и холодного водоснабжения 4, 5. Выступы на образующей теплообменника 2 позволяют обеспечить эффективный теплообмен между спаями термоэлектрической батареи 1 и водой, протекающей в трубе водоснабжения. Предпочтительно изготавливать теплообменники 2 из сплава АД1 либо из литейных алюминиевых сплавов (например АК4, АЛ1, АЛ8), а выступы на образующей теплообменников выполнять плоскими для эффективного теплового контакта с спаями термоэлектрической батареи и для упрощения монтажа устройства посредством стягивания теплообменников болтовым соединением 6.

На рис. 2 показана возможная схема установки термоэлектрического генератора на трубы горячего и холодного водоснабжения. Для типовых труб круглого сечения при установке можно использовать комбинированную разъемную PP-R муфту 7 с наружной резьбой d32x1", PP-R угол 8 (32 мм 45°), PP-R полипропиленовую трубу 9 (GF 32 мм PN 20), комбинированную разъемную PP-R муфту 10 с внутренней резьбой d32x1".

Термоэлектрический генератор заявляемой конструкции работает следующим образом. При протекании горячей и холодной воды через теплообменники 2 на «горячих» и на «холодных» спаях термоэлектрической батареи 1 поддерживается перепад температур, практически равный разности температур воды в трубах горячего и холодного теплоснабжения ($\Delta t = 40\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$). Благодаря этому на зажимах 3 термоэлектрической батареи 1, работающей на основе эффекта Зеебека, возникает термоЭДС.

В качестве иллюстрации к сказанному в таблице приведены эксплуатационные характеристики стандартных термоэлектрических батарей, рассчитанных на работу при перепаде температур спаев $\Delta t = 40\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$.

Характеристики термоэлектрических батарей

Термоэлектрическая батарея	I, A	$P, \text{Вт}$	$U, \text{В}$	$R, \text{Ом}$
TGM 127-1,4-2,0	0,6–0,9	2,12–3,18	1,4–2,1	0,656–0,984
TGM 199-1,4-2,0	0,564–0,846	2,92–4,38	2,08–3,12	1,04–1,56
TGM 287-1,0-2,5	0,248–0,372	2–3	3,24–4,86	3,6–5,4

Таким образом, заявленная конструкция термоэлектрического генератора позволяет, во-первых, повысить эффективность термоэлектрического преобразования энергии за счет оптимизации конструкции системы охлаждения холодных спаев и системы нагрева горячих спаев, а во-вторых, упростить и удешевить конструкцию генератора и его монтаж.

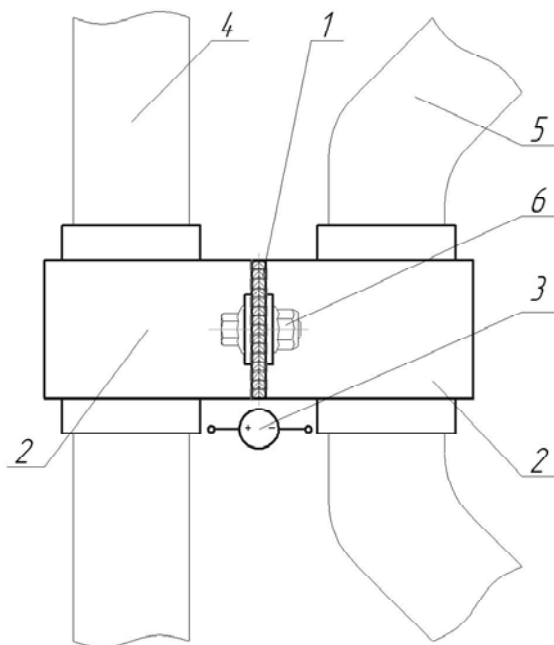


Рис. 1.

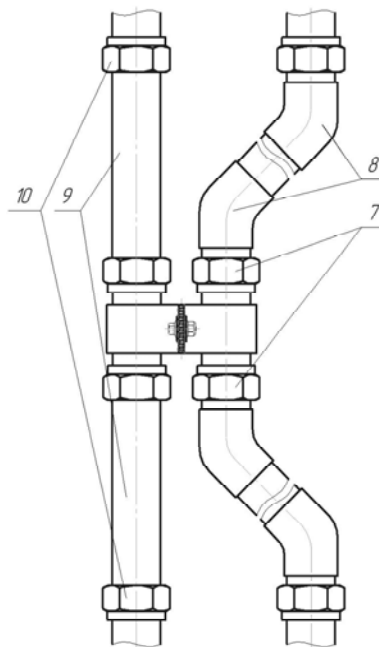


Рис. 2.

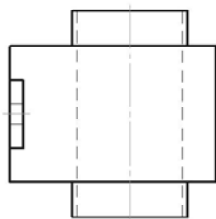


Рис. 3.

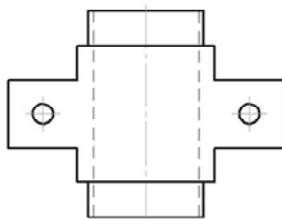


Рис. 4.

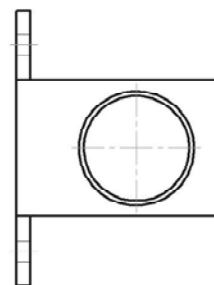


Рис. 5.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ И ИЗМЕРЕНИЮ ЗНАЧЕНИЙ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

М. А. Драко

РУП «Белэнергосетьпроект»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель М. А. Короткевич

В процессе эксплуатации воздушных линий (ВЛ) проводится их ремонт и техническое обслуживание.

Наибольшую опасность для персонала, с точки зрения поражения электрическим током, представляют собой работы под наведенным напряжением:

- на ВЛ, находящихся в зоне влияния действующих ВЛ или контактной сети железной дороги;
- на отключенной цепи двухцепной ВЛ;
- на отключенной фазе при пофазном ремонте;
- на грозозащитном тросе действующей ВЛ.

Согласно [1] отключенные воздушные линии (ВЛ), проходящие по всей длине или на отдельных участках вблизи действующих ВЛ, а также контактной сети электрофицированной железной дороги переменного тока, и на заземленных проводах (грозозащитном тросе) которых наводится напряжение более 25 В, в пересчете на максимальный ток влияющей ВЛ, являются находящимися под наведенным напряжением. Другими словами, наведенное напряжение на заземленных проводах отключенной и заземленной по концам линии (в распределительном устройстве) не должно превышать 25 В при наибольшем токе влияющей ВЛ.

Проведение работ на таких ВЛ имеет свои специфические особенности, связанные с:

- неопределенностью режима источника наведенного напряжения;
- изменяющимися топологическими параметрами электрической сети, что вызвано реконструкцией существующих и строительством новых ВЛ;
- различной природой составляющих наведенного напряжения и др.

Наведенное напряжение на проводах и грозозащитном тросе отключенной ВЛ состоит из электростатической и электромагнитной составляющих.

По степени опасности наведенного напряжения, возникающего на заземленной ВЛ, выделяются участки, имеющие следующие характеристики:

- зона безопасного прикосновения к проводу (на проводах и тросах наведенное напряжение относительно земли на заземленном рабочем месте не превышает 25 В);

– зона опасного прикосновения к проводу (на проводах и тросах наведенное напряжение относительно земли на заземленном рабочем месте не может быть снижено до 25 В).

Зоны действия наведенного напряжения изменяются в зависимости от режимов заземления ВЛ, находящейся под наведенным напряжением.

В случае сближения отключенной и действующей ВЛ на отдельных участках максимальных значений наведенного напряжения следует ожидать:

- по концам участков их совместного прохождения;
- в точках наибольшего сближения отключенной и влияющей ВЛ, проходящих под углом друг к другу;
- при пересечении отключенной и влияющей ВЛ под углом отличным от 90°.

Напряжение на незаземленных проводах ВЛ, находящейся под наведенным напряжением, могут достигать сотен и даже тысяч вольт, а в случае возникновения короткого замыкания на влияющей ВЛ – десятков киловольт.

Проблемам физической сущности наведенного напряжения, а также выполнению организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением, посвящен ряд зарубежных исследований [2]–[6].

Вместе с тем за четыре года действия введенного технического кодекса установившейся практики ТКП-427 [1] в Беларуси не проводились комплексные исследования находящихся под наведенным напряжением ВЛ, базирующиеся на решении расчетной задачи нахождения значения наведенного напряжения (прогнозировании) вкупе с последующими замерами на отключенной ВЛ, подтверждающими или отрицающими результаты аналитического расчета.

Для оценки уровня наведенного напряжения на подверженной влиянию ВЛ автором предложен системный подход, включающий анализ математического аппарата аналитического метода прогнозирования и экспериментального метода исследования, разработанных РУП «Белэнергосетьпроект» и применяемых в белорусской энергосистеме.

Особенность оценки наведенного напряжения расчетным методом состоит в учете того, что ВЛ по всей длине не являются однородными (разная протяженность участков сближения влияющей и отключенной ВЛ, а также расположение проводов и тросов на опорах, в том числе в варианте фаз, наличие заземления рабочего места на отключенной ВЛ). Для составления системы уравнений необходимо разбить ВЛ на однородные участки и общее решение задачи выражать через частные решения для однородных участков.

Однородный участок в пределах зоны сближения ВЛ, для которого ищется частное решение, считается активным участком, другие участки – пассивными. Расчетное значение наведенного напряжения в заданной точке провода, подверженной влиянию ВЛ, представляется в виде геометрической суммы составляющих наведенного напряжения от каждого активного участка рассматриваемого провода. Если точка наблюдения расположена в пределах активного участка, то составляющая наведенного напряжения от влияния на этом участке находится непосредственно из частного решения. В случае если точка наблюдения расположена вне активного участка, то составляющая наведенного напряжения от влияния на этот участок находится путем распространения значения наведенного напряжения с начала или конца активного участка до точки наблюдения.

При записи дифференциальных уравнений для расчета наведенного напряжения на активном участке ВЛ считается, что напряжения и токи в цепях влияющей ВЛ яв-

ляются заданными и их значения не зависят от токов и напряжений находящейся в зоне ее влияния ВЛ.

Дальнейшие полевые измерения наведенного напряжения выполняются на отключенной ВЛ при нормальном режиме работы влияющей ВЛ в тех местах, где на основе расчетов можно ожидать наибольшие значения наведенных напряжений (прогнозируемой зоны опасного прикосновения к проводу).

Заземление ВЛ, рабочего участка и рабочих мест выполняется с помощью следующих типов заземлений: подстанционного, дополнительного, линейного, базового и (или) специального [1].

В качестве специальных заземлителей необходимо использовать систему «трос-опоры» ВЛ, локальные заземлители, устанавливаемые в зоне расположения опоры, заземляющие устройства соседних линий, а также комбинации из системы «трос-опоры» и локальных заземлителей.

В момент проведения измерений должны быть получены от оперативного персонала подстанции значения режимных параметров влияющей ВЛ.

Полученные при измерениях значения наведенных напряжений должны быть приведены к максимально допустимым значениям протекающих по влияющей ВЛ токов путем пересчета.

На основании вышеизложенных положений специалистами РУП «Белэнергосетьпроект» разработана методика выполнения измерений значений наведенного напряжения, устанавливающая порядок выполнения измерений наведенного напряжения на отключенных ВЛ, проходящих вблизи действующих ВЛ напряжением 110 кВ и выше. Средством измерения выступает прибор электроизмерительный многофункциональный 43104.

Экспериментальные измерения наведенного напряжения были проведены в филиале «Слуцкие электрические сети» РУП «Минскэнерго» на одной из отключенной ВЛ 110 кВ.

Проведенное исследование показало, что значения наведенного напряжения, полученные аналитически (методом прогнозирования) и экспериментально, методом прямого измерения, практически совпадают. Некоторая погрешность объясняется внутренним сопротивлением средства измерения и переменным характером нагрузки.

Для своевременного принятия мер по обеспечению безопасности при проведении ремонтных и профилактических работ на воздушных линиях электропередачи предлагается заблаговременно выявлять места ожидаемых максимальных значений наведенного напряжения на участках совместно проходящих ВЛ с целью проведения контрольных измерений наведенного напряжения, которое в пересчете на максимальный ток влияющей ВЛ не должно превышать 25 В.

При выявлении путем измерений участков отключенной ВЛ со значениями наведенного напряжения, превышающими регламентируемые, и недостаточностью принимаемых мер по его снижению эффективным решением может стать разработка и установка специальных низкоомных заземлителей на прилегающих опорах выведенной в ремонт ВЛ.

Литература

1. ТКП 427–2012 Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок / М-во энергетики Респ. Беларусь. – Минск : Энергопресс, 2013. – 160 с. : ил.
2. Вантеев, А. И. Проблемы обеспечения безопасности работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением / А. И. Вантеев // Энергетик. – 2008. – № 11. – С. 5–7.

3. Целебровский, Ю. В. Безопасность работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением / Ю. В. Целебровский // Новости электротехники. – 2008. – № 3.
4. Целебровский, Ю. В. О безопасности работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением. Анализ технических мероприятий / Ю. В. Целебровский // Новости ЭлектроТехники. – 2008. – № 4 (52). – С. 90–91.
5. Целебровский, Ю. В. О безопасности работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением. Реальные опасности и методики измерения напряжений / Ю. В. Целебровский // Новости ЭлектроТехники. – 2009. – № 1 (55). – С. 54–57.
6. Шарандин, А. А. Наведенное напряжение и защита от него / А. А. Шарандин. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2016. – 40 с. : ил. [Библиотечка электротехники, прил. к журн. «Энергетик». – Вып. 3 (207)].

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ НА ОАО «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ ДРУЖБА»

Е. И. Сушкин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Н. Колесник

ОАО «Гомельтранснефть «Дружба» представляет собой сложную энергоемкую систему. Анализ работы системы магистрального транспорта нефти показывает, что отклонение от оптимальных режимов транспорта приводит к увеличению потребления электроэнергии. Сложность прогнозирования, а также выявление потенциала энергосбережения и оценки экономии топливно-энергетических ресурсов обусловлено частым изменением объема транспортируемой нефти. Резкие колебания объемов транспорта, связанные с конъюнктурой рынка, при этом сопровождаются значительными изменениями в потреблении топливно-энергетических ресурсов за счет включения-отключения мощных магистральных насосных агрегатов. Проблема энерго- и ресурсосбережения для предприятия транспорта нефти, работающего с огромными единичными мощностями, завершившего полную реконструкцию насосного и энергетического оборудования, может решаться как оптимизационная задача.

Таким образом, повышение энергоэффективности функционирования участков нефтепровода за счет применения частотно-регулируемых приводов при изменяющемся грузообороте рассматривается как актуальное направление развития отрасли.

При оборудовании насосных агрегатов на насосных перекачивающих станциях частотно-регулируемым приводом появляется возможность изменять частоту вращения роторов насосных агрегатов в широких пределах, изменяя тем самым напорно-расходные характеристики насосов. Применение частотно-регулируемых приводов на насосных агрегатах открывает широкие возможности по регулированию производительности нефтепровода. Появляется возможность изменения производительности нефтепровода путем изменения частоты вращения роторов насосов на насосных перекачивающих станциях при помощи частотно-регулируемого привода без изменения количества рабочих насосов. Такая возможность позволяет обеспечить практически любую требуемую производительность на нефтепроводе в широких пределах (ограниченную «рабочей зоной» насосных агрегатов).

В ходе исследования рассматривался вариант установки комплекта частотно-регулируемого привода на насосные агрегаты одной из насосных станций ОАО «Гомельтранснефть «Дружба», запитанного от отдельной ячейки. Данная насосная станция осуществляет транспорт нефти по участку в двухтрубном исполнении.

Транспорт нефти осуществляется из резервуаров. В связи с тем что суточные объемы транспорта нефти не постоянны и меньше номинальной пропускной способности трубопровода, насосные агрегаты находятся в работе не целые сутки.

Помимо этого, существует необходимость переключения между насосными агрегатами, обусловленная транспортировкой различных сортов нефти на данном участке трубопровода.

Принимая во внимание данные сведения, можно выделить основные положительные моменты от установки частотно-регулируемого привода – это уменьшение потребления электроэнергии и увеличения ресурса эксплуатации насосных агрегатов.

Характеристики насосных агрегатов исследуемой насосной станции представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики насосных агрегатов исследуемой насосной станции

Наименование характеристики	Насосный агрегат № 1	Насосный агрегат № 2	Резервный насосный агрегат
Производительность, м ³ /ч	2000–2800	1100–1500	2000–2800
Напор, м	88	95	88
КПД, %	76	76	76
Мощность двигателя, кВт	800	500	800
Производительность, при использовании частотно-регулируемого привода, м ³ /ч	1120–2800	600–1500	1120–2800

При расчете учитывались следующие условия:

– в качестве расчетных нагрузок (объемы транспорта нефти) приняты данные за календарный год;

– режимы работы насосной станции приняты следующие: насосный агрегат № 2 мощностью 500 кВт перекачивает белорусскую нефть, насосный агрегат № 2 мощностью 800 кВт перекачивает российскую нефть. Все остальные режимы приняты нештатными и расчетом не учитываются;

– плотности российской и белорусской нефти учтены исходя из среднемесячных значений;

– плата за потребленную электроэнергию принята в соответствии с «Декларацией об уровне тарифов на электрическую энергию, отпускаемую республиканскими унитарными предприятиями электроэнергетики ГПО «Белэнерго» для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей»;

– при расчете время работы частотно-регулируемого привода задано с учетом времени, которое используется на технологические переключения.

При неравномерном графике транспорта нефти поддержание оптимального давления и заданного объема транспортировки нефти можно обеспечить за счет изменения скорости вращения (производительности) насосного агрегата.

Известно, что привод центробежных насосов имеет так называемую вентиляторную характеристику момента. Это означает, что потребляемая мощность центробежного насоса зависит от числа оборотов рабочего колеса насоса. Мощность насосных агрегатов определяем по формуле [1]:

$$P_{\text{нас}} = \frac{\rho Q H}{367 \eta_{\text{нас}}}, \text{ кВт},$$

где ρ – плотность перекачиваемой жидкости; Q – производительность, м³/ч; H – напор, создаваемый насосом, м; 367 – переводный множитель, константа; $\eta_{\text{нас}}$ – коэффициент полезного действия насосного агрегата.

Обычно электродвигатель насоса выбирается с запасом по сравнению с расчетной мощностью насоса.

У центробежного насоса мощность, напор, производительность и момент связаны с частотой вращения «формулами подобия» [2]:

$$\frac{P_{\text{нас}_1}}{P_{\text{нас}_2}} = \frac{n_{\text{нас}_1}^3}{n_{\text{нас}_2}^3}, \quad \frac{H_{\text{нас}_1}}{H_{\text{нас}_2}} = \frac{n_{\text{нас}_1}^2}{n_{\text{нас}_2}^2}, \quad \frac{Q_{\text{нас}_1}}{Q_{\text{нас}_2}} = \frac{n_{\text{нас}_1}}{n_{\text{нас}_2}}, \quad \frac{M_{\text{нас}_1}}{M_{\text{нас}_2}} = \frac{n_{\text{нас}_1}^2}{n_{\text{нас}_2}^2},$$

где P – мощность, потребляемая насосом, кВт; H – напор, создаваемый насосом, м; Q – производительность насоса, м³/ч; M – момент на валу насоса.

Индексы 1 и 2 при буквенных обозначениях относятся к первому и второму режимам работы насосов.

При рассмотрении зависимости $P = f(n)$, $H = f(n)$ и $Q = f(n)$ видно, что при увеличении числа оборотов вала центробежного насоса растет его производительность, увеличивается давление в линии нагнетания и растет потребляемая мощность. При этом потребляемая мощность находится в кубической зависимости от скорости вращения вала насоса.

Оценка экономической эффективности производилась в соответствии с [2].

К установке предложен привод компании Schneider Electric Altivar 1200.

Результаты расчета экономической эффективности от установки частотно-регулируемого привода на насосные агрегаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Экономическая эффективность частотно-регулируемого привода

Наименование привода	Капиталовложения при установке частотно-регулируемого привода, р.	Срок окупаемости капиталовложений, лет
Schneider Electric Altivar 1200	600000	1,9

В результате вышеизложенных расчетов видно, что применение частотно-регулируемого привода на насосных агрегатах экономически обоснованно и целесообразно, так как это дает реальный экономический эффект, позволит исключить большие пусковые токи и осуществлять более плавный пуск насосных агрегатов, что, как следствие, продлит срок их службы.

Литература

1. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры : учеб. для теплоэнергет. специальностей вузов / В. М. Черкасский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 415 с.
2. Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь от 19.07.2016 «Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий». – 106 с.

НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Ю. В. Облес

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. О. Добродей

Нынешние телекоммуникационные устройства включают в себя множество разнообразных узлов, таких как радио-, приемопередатчики, схемы аналоговой и цифровой обработки сигналов, дисплеи и т. д. Каждому из них требуется питание со специфическим напряжением, током, полярностью и допустимой нестабильностью. Для мобильных коммуникационных устройств дополнительно необходимы миниатюрность, легкость и предельно высокий КПД для экономного расхода заряда аккумуляторов. Питание от аккумуляторов также требуется и некоторым стационарным потребителям в случае аварии сети электроснабжения. Таким образом, телекоммуникационные системы предъявляют сложные требования к схемам питания. Всем этим требованиям в полной мере способны удовлетворить только источники вторичного электропитания, использующие импульсное преобразование и регулирование. Поэтому они получили широчайшее распространение не только в телекоммуникационных, но и во многих других современных электронных устройствах.

Вместе с высокими эксплуатационными характеристиками импульсные схемы питания характеризуются высокой сложностью по сравнению с классическими линейными схемами. Поэтому глубокое понимание принципов работы и особенностей различных типов импульсных преобразователей необходимо не только для их создания, но и для правильного выбора подходящего устройства из множества выпускаемых серийно.

Задачи исследования:

- экспериментальный анализ основных параметров и характеристик импульсных преобразователей напряжения постоянного тока;
- оценка нагрузочной способности преобразователей напряжения на основании проведенных опытов.

Для экспериментального исследования были выбраны повышающие преобразователи напряжения, такие как МТ3608 и XL6009. Их паспортные характеристики приведены в таблице.

Паспортные характеристики импульсных преобразователей напряжения

Наименование	I_{\max} , А	$U_{\text{вх}}$, В	$U_{\text{вых}}$, В	КПД	f , кГц	Размеры
МТ3608	2	2–24	28	до 93 %	150	36 × 17 × 14
XL6009	4	3–32	5–35	до 94 %	150	43 × 20 × 10

На протяжении всех экспериментов осуществлялось измерение значений напряжений и токов на входе и выходе импульсных преобразователей напряжения, а также значение температуры на поверхности корпуса. Схема исследований приведена на рис. 1.

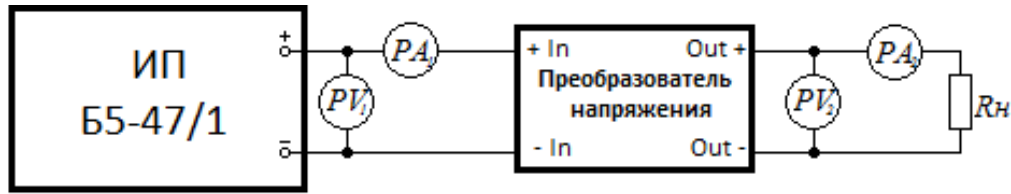


Рис. 1. Схема экспериментального исследования импульсного преобразователя напряжения

В процессе измерений при неизменном входном напряжении U_1 и установленном с помощью регулятора на преобразователе выходном напряжении U_2 изменялось значение сопротивления нагрузки и определялась зависимость эффективности использования η от выходного тока I_2 .

Формула для определения эффективности использования преобразователя:

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} 100 \%,$$

где I_1 и I_2 ; U_1 и U_2 – соответственно, входные и выходные токи и напряжения импульсного преобразователя, мА, В.

По результатам измерений были построены зависимости эффективности использования преобразователя напряжения от выходного тока, приведенные на рис. 2–5.

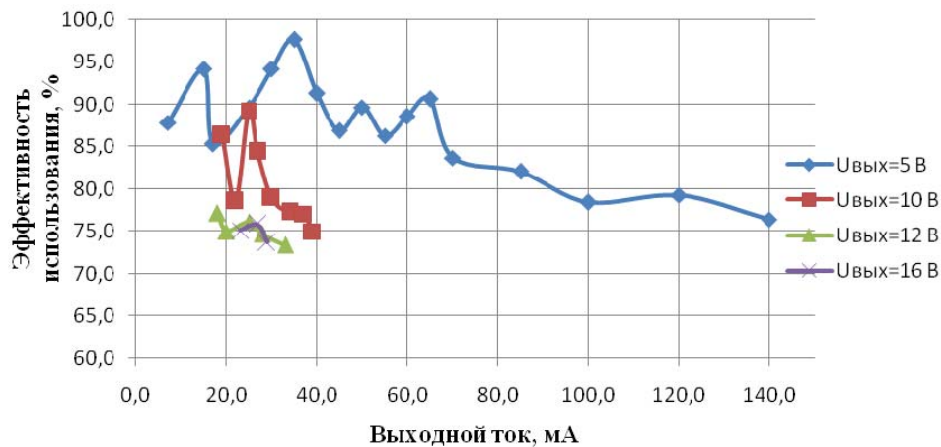


Рис. 2. Зависимость эффективности использования преобразователя напряжения МТ3608 от выходного тока, при входном напряжении 2 В

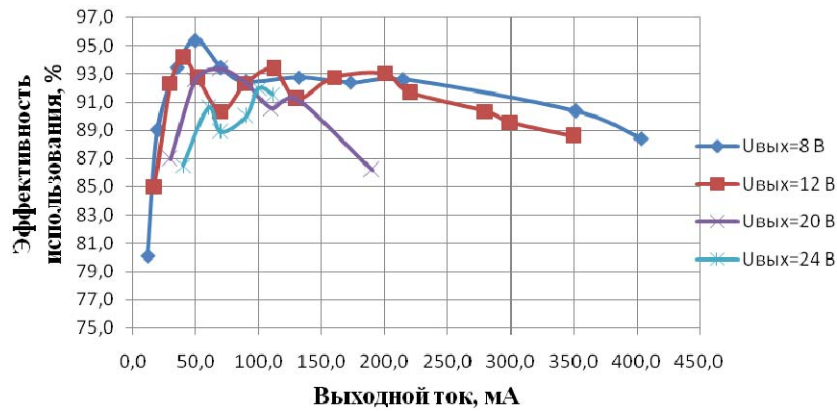


Рис. 3. Зависимость эффективности использования преобразователя напряжения MT3608 от выходного тока, при входном напряжении 6 В

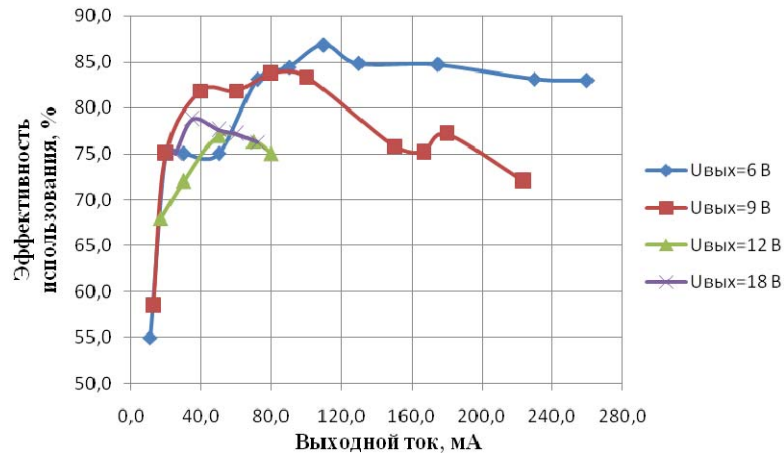


Рис. 4. Зависимость эффективности использования преобразователя напряжения XL6009 от выходного тока, при входном напряжении 4 В

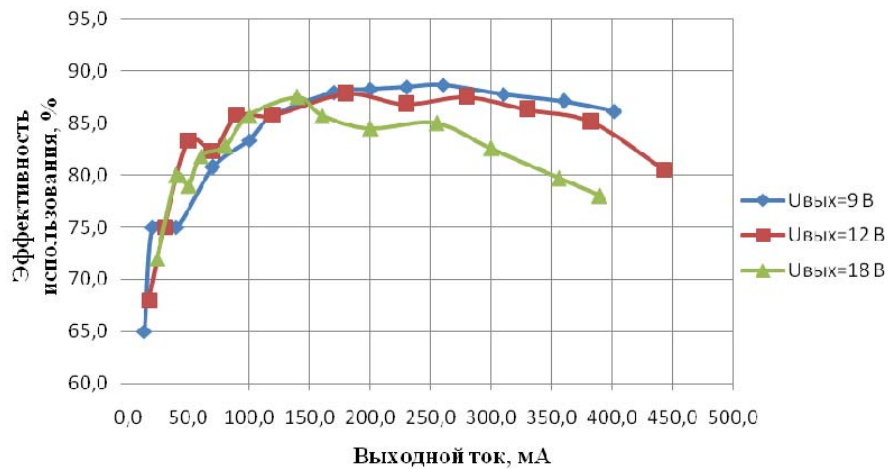


Рис. 5. Зависимость эффективности использования преобразователя напряжения XL6009 от выходного тока, при входном напряжении 6 В

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод о том, что импульсные преобразователи МТ3608 и XL6009 обладают широким диапазоном регулирования напряжения для питания современных электронных устройств, а также наблюдается заметное снижение эффективности использования при увеличении выходного напряжения и увеличении тока нагрузки.

Исследуемые преобразователи напряжения могут быть использованы для питания различных устройств от источников альтернативной энергии (солнечных батарей, ветряных установок и др.), а также для получения различных оперативных напряжений в релейной защите и автоматике.

РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГТУ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОМЕЛЬСКОЙ ТЭЦ-2 В МЕЖОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

В. П. Ключинский

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Новиков

Согласно закону «Об энергосбережении» от 8 января 2015 г. одной из приоритетных задач Республики Беларусь является эффективное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. Поэтому существует необходимость постоянного повышения эффективности работы генерирующих мощностей.

Изучение графика электрической и тепловой нагрузки Гомельской ТЭЦ-2 выявило, что в межотопительный период в работе находится один энергоблок со средней электрической нагрузкой 93 МВт и тепловой 92 Гкал/ч, что, соответственно, составляет 51,8 и 35,6 % от номинальной нагрузки энергоблока. Низкая загрузка энергоблока отрицательно сказывается на его технико-экономических показателях [1].

Поэтому существует необходимость повышения КПД электростанции, особенно в межотопительный период.

В связи с бурным развитием и имеющимся положительным опытом внедрения в энергетику Республики Беларусь газотурбинных и парогазовых технологий была изучена возможность применения данных установок для повышения технико-экономических показателей работы станции в межотопительный период.

Существуют различные варианты газотурбинных установок (ГТУ) и надстройки паротурбинной установки (ПГУ) газовой турбиной для создания парогазовой установки (ПГУ). Для сравнения были выбраны следующие варианты:

1. Установка газовой турбины со сбросом газов в газодляной подогреватель (котел утилизатор) для подогрева сетевой воды мощностью, необходимой для покрытия теплового графика нагрузки в межотопительный период (рис. 1, а) [2]. Расчеты показали, что для покрытия тепловой нагрузки в межотопительный период требуется газотурбинная установка мощностью 110 МВт.

2. Установка новой ПГУ с котлом-утилизатором мощностью 230 МВт для покрытия теплового графика нагрузки в межотопительный период (рис 1, б).

3. Надстройка существующего энергоблока газовой турбиной для создания ПГУ сбросного типа (рис. 1, в), в которой выходные газы ГТУ направляются в горелки энергетического парового котла, где они используются в качестве окислителя. Объемная концентрация кислорода выхлопных газов ГТУ составляет от 13 до 16 % [3]. Поэтому для окисления поступающего топлива потребуется 103,7 кг выхлопных газов ГТУ в секунду, что соответствует газовой турбине мощностью 36 МВт.

4. ПГУ с полузависимой схемой (рис 1, з). Теплота выхлопных газов газовой турбины утилизируется в теплообменниках высокого и низкого давления, куда поступает питательная вода и основной конденсат. Для анализа были рассмотрены три варианта ПГУ с полузависимой схемой: 1. С замещением регенерации низкого давления (потребуется ГТУ мощностью 11 МВт). 2. С замещением регенерации высокого давления (потребуется ГТУ мощностью 10 МВт). 3. С замещением регенерации низкого и высокого давления (потребуется ГТУ мощностью 21 МВт).

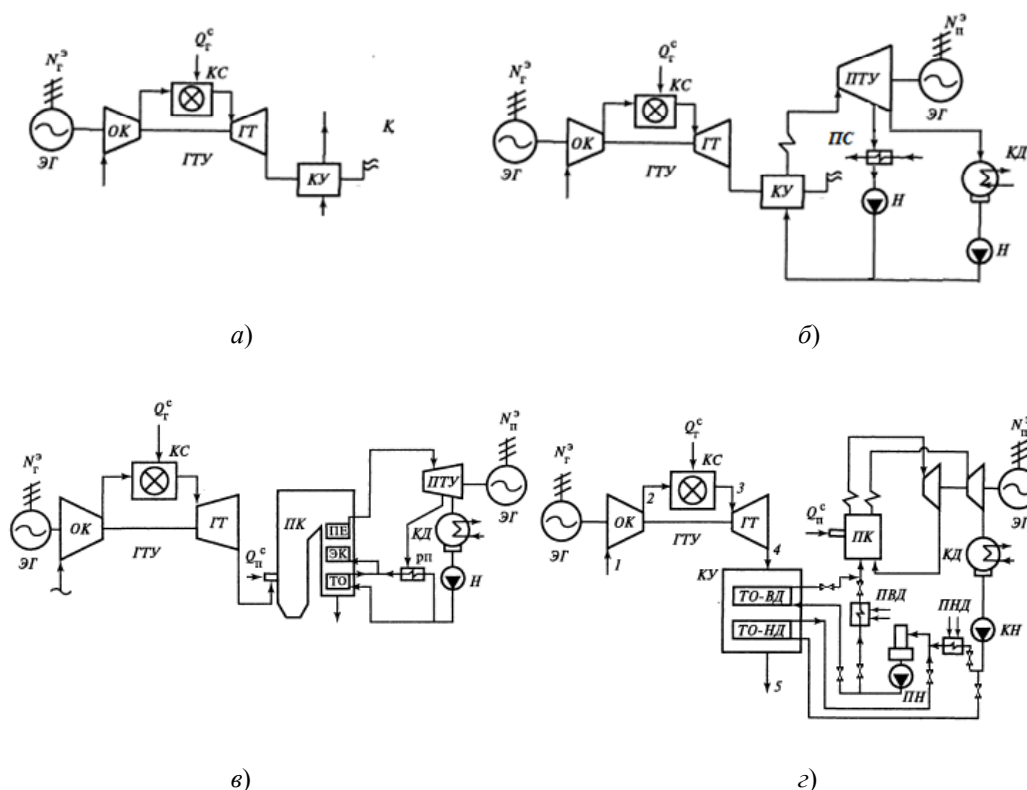


Рис. 1. Тепловые схемы исследуемых установок: а – ГТУ со сбросом газов в газодводяной подогреватель (котел-утилизатор) для подогрева сетевой воды; б – ПГУ с котлом-утилизатором; в – ПГУ сбросного типа; з – ПГУ с полузависимой схемой:

ОК – осевой компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина;
 ЭГ – электрогенератор; ГТУ – газотурбинная установка; КУ – котел-утилизатор; ПТУ – паротурбинная установка; КД – конденсатор; Н – насос (К – конденсатный, П – питательный); ПК – паровой котел; РП – регенеративный подогреватель; ПС – подогреватель сетевой; ПНД – подогреватель низкого давления; ПВД – подогреватель высокого давления; ПЕ – пароперегреватель; ЭЖ – экономайзер; ТО – теплообменник (ВД – высокого давления, НД – низкого давления)

Сравнение исследуемых вариантов первоначально производилось по эксергетическому КПД [4]. Результаты показали, что эксергетический КПД газотурбинной установки со сбросом газов в газодводяной подогреватель ниже, чем у существующей паротурбинной установки. Следовательно, дальнейшее исследование данного варианта не целесообразно.

Дальнейшее сравнение исследуемых вариантов производилось по технико-экономическим показателям (по статическому сроку окупаемости). Результаты данных исследований представлены в таблице.

**Результаты исследования различных вариантов повышения
эффективности ТЭЦ в межтопительный период**

Установка		Эксергетический КПД, %	Изменение удельного расхода топлива на выработку электрической энергии, %	Статический срок окупаемости, лет
ГТУ с котлом-утилизатором		18,7	–	–
ПГУ с котлом-утилизатором		55	– 45,49	13,48
ПГУ сбросного типа		37,9	– 20,9	4,45
ПГУ с полузависимой схемой	с замещением регенерации высокого давления	32,04	– 6,43	4,47
	с замещением регенерации низкого давления	31,97	– 6,23	5,24
	с замещением регенерации высокого и низкого давления	33,6	– 10,82	5,35

Анализ полученных результатов показал, что наиболее привлекательными являются два варианта: ПГУ сбросного типа и ПГУ с полузависимой схемой с замещением регенерацией высокого давления. Однако более целесообразным является вариант ПГУ сбросного типа, так как у данного варианта при одинаковых сроках окупаемости более значительно изменение удельного расхода топлива на выработку электрической энергии и более значительная мощность газотурбинной установки.

Основными достоинствами данного энергосберегающего мероприятия являются: снижение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии (на 20,9 %); повышение маневренности ТЭЦ; возможность автономной работы паросилового цикла. Основным недостатком данного энергосберегающего мероприятия является невозможность ежедневных остановов ГТУ (вследствие ее быстрого выхода из строя) для прохождения ночных минимумов нагрузки энергосистемы.

Литература

1. Лавыгин, В. М. Тепловые электрические станции / В. М. Лавыгин, А. С. Седлов, С. В. Цанев. – М. : Издат. дом МЭИ, 2009. – 467 с.
2. Зысин, В. А. Комбинированные парогазовые установки и циклы / В. А. Зысин. – Л. : ГЭИ, 1962. – 187 с.
3. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М. : Издат. дом МЭИ, 2009. – 579 с.
4. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок / А. А. Александров. – М. : Издат. дом МЭИ, 2004. – 159 с.

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ И ВНЕДРЕНИЕ ИХ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

П. С. Яночкин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Л. И. Евминов

Надлежащее качество и надежность электроэнергетических сетей и систем обеспечивается широким применением комплекса устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА).

Именно поэтому важно обучать студентов-энергетиков грамотной эксплуатации устройств РЗА. Для этого могут быть использованы специальные устройства, называемые тестовыми системами релейной защиты (ТСРЗ). В Республике Беларусь одними из наиболее распространенных ТСРЗ являются устройства Ретом.

Далее будет проиллюстрирован один из многочисленных примеров процесса обучения студентов испытанию устройств РЗА с помощью ТСРЗ на примере испытаний реле направления мощности РМ 11 посредством Ретом-41М.

Подключаем РМ 11 к Ретом-41М по схеме, изображенной на рис. 1.

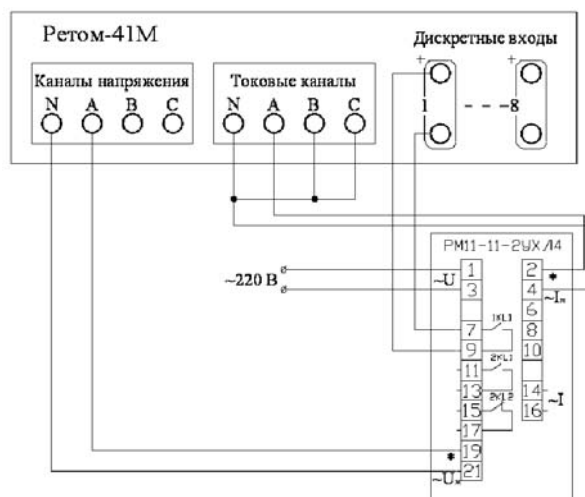


Рис. 1. Схема подключения РМ 11 к Ретом-41М

При испытаниях реле направления мощности важным является построение угловой характеристики реле и вычисление угла максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$.

Подключив Ретом-41М к компьютеру и загрузив его программное обеспечение (ПО) [2], сделаем следующую последовательность действий:

– выставим с помощью «Комбинированного прибора» (элемента интерфейса ПО Ретом) значения тока и напряжения, подаваемые на входные цепи реле мощности, равные 50 % их номинальных значений (0,5 А и 50 В);


– поместим курсор в рамку со значением угла тока фазы А (выделенная область на рис. 2). Кнопками  «Комбинированного прибора» произведем его увеличение от 0 до 360°, при этом запишем углы φ_1 возврата и φ_2 срабатывания. Затем снизим значение угла от 360 до 0°, при этом запишем углы φ_3 возврата и φ_4 срабатывания. Значения углов срабатывания и возврата фиксируются прибором;



Рис. 2. Область «ТОК»

– построим угловую характеристику реле мощности по полученным в ходе опыта данным (рис. 3);

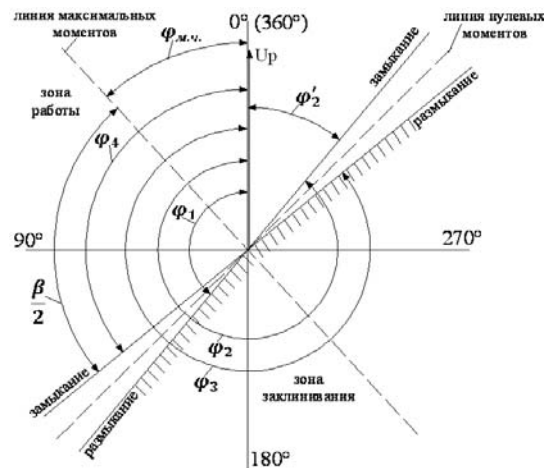


Рис. 3. Угловая характеристика реле мощности

– вычислим угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч.}$ с помощью следующих формул [1]:

$$\varphi_2' = 360^\circ - \varphi_2;$$

$$\frac{\beta}{2} = \frac{\varphi_2' + \varphi_4}{2};$$

$$\varphi_{м.ч.} = \frac{\beta}{2} - \varphi_2' \quad \text{или} \quad \varphi_{м.ч.} = \varphi_4 - \frac{\beta}{2};$$

– сравниваем расчетное и паспортное значения угла $\varphi_{м.ч.}$ и делаем выводы о состоянии реле.

Обучение студента-энергетика эксплуатации микропроцессорных устройств РЗА также является важным, в особенности обучение работе со свободно программируемой логикой. Для этого можно использовать различные упражнения.

Например, студенту дается задание запрограммировать срабатывание дискретного выходного сигнала № 5 устройства МР700 (производство БЭМН) при получении сигнала входа 5 или суммы сигналов входов 6 и 7. Для этого в специальном ПО «Уникон» для устройства МР700 нужно открыть меню «Программирование» и далее, используя логические элементы «И», «ИЛИ», составить необходимую логическую схему работы устройства [3] (рис. 4).

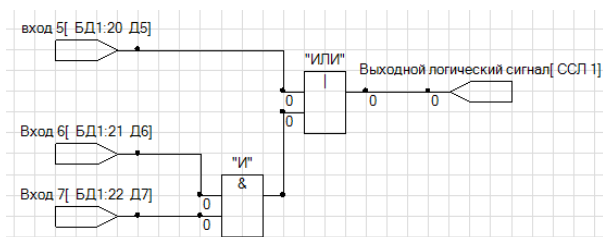


Рис. 4. Логическая схема получения требуемого сигнала

Далее, в меню «Конфигурация» на вкладке «Выходные сигналы» [3] для сигнала № 5 установить ранее сконфигурированный (рис. 4) логический сигнал ССЛ1 (рис. 5).

Выходные реле				
№	Тип	Сигнал	Импульс	
1	Повторитель	Нет		0
2	Повторитель	Работа УРОВ		0
3	Повторитель	Работа УРОВ		0
4	Повторитель	Нет		0
5	Повторитель	ССЛ1		0

Рис. 5. Меню выходных сигналов МР700

Для проверки логики срабатывания МР700 будет использоваться стенд типа СПУ-2, который позволяет увидеть логику срабатывания устройств РЗА (рис. 6). Схема подключения МР700 к СПУ-2 для проведения данного опыта изображена на рис. 7. После подключения МР700 к данному стенду, чтобы проверить правильность срабатывания устройства по логике, описанной ранее в примере, следует симитировать входной сигнал 5 или сигналы 6 и 7 нажатием соответствующих кнопок 5 или 6 и 7 на СПУ-2 (1 на рис. 6). После чего, если логика МР700 была сконфигурирована правильно, на СПУ-2 загорится светодиод 5 (2 на рис. 6), который свидетельствует о получении с МР700 выходного сигнала № 5.



Рис. 6. Стенд СПУ-2

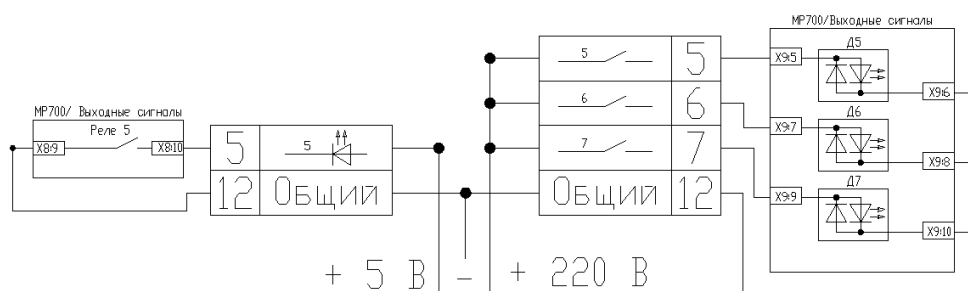


Рис. 7. Схема подключения МР700 к стенду СПУ-2

Таким образом, испытания устройств РЗА могут представлять собой набор упражнений различной сложности, которые можно успешно внедрить в учебный процесс. Разработанные упражнения помогут усовершенствовать подготовку студентов-энергетиков и повысить их квалификацию.

Литература

1. Евминов, Л. И. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений по электроэнергет. специальностям / Л. И. Евминов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 395 с.
2. Ретом-41 – испытательная система для релейной защиты и автоматики. – Режим доступа: <http://www.dynamics.com.ru/production/retom-41m>. – Дата доступа: 14.10.2016.
3. Техническая документация БЭМН. – Режим доступа: <http://bemn.by/download/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/>. – Дата доступа: 27.10.2016.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИНИЯХ 330 КВ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ф. В. Стелькин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель П. В. Лычев

Проблема оптимизации параметров и режимов систем передачи и распределения электроэнергии весьма сложна и многогранна. Задачи оптимизации параметров объектов приходится решать на стадии проектирования развития или реконструкции электрической сети. Текущая оптимизация осуществляется при эксплуатации сети. В любом случае для оптимизации параметров должен быть выбран критерий оптимизации. В нашем случае критерием оптимизации режима напряжения в линиях 330 кВ является критерий минимума потерь активной мощности.

Задача оптимизации режима по уровням напряжения заключается в нахождении таких значений напряжения, при которых суммарные потери активной мощности будут минимальны:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{H}} + \Delta P_{\text{K}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где ΔP_{H} – нагрузочные потери активной мощности, МВт; ΔP_{K} – потери активной мощности на корону, МВт.

Нагрузочные потери от передачи только активной мощности ΔP_{H} по линии с активным сопротивлением $R_{\text{л}}$ определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{H}} = \left(\frac{P}{U} \right)^2 R_{\text{л}}, \quad (2)$$

$$R_{\text{л}} = r_0 L, \quad (3)$$

где r_0 – удельное активное сопротивление, Ом/км; L – длина линии, км.

Потери активной мощности на корону определяются по формуле

$$\Delta P_K = \Delta P_{y,K} L K_U, \quad (4)$$

где $\Delta P_{y,K}$ – удельные потери активной мощности на корону при номинальном напряжении $U_{ном}$, МВт/км; K_U – коэффициент, позволяющий уточнить потери мощности на корону, если рабочее напряжение U отличается от $U_{ном}$.

$$K_U = 6,88 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^2 - 5,88 \left(\frac{U}{U_{ном}} \right). \quad (5)$$

В сетях напряжением 330 кВ максимально допустимое рабочее напряжение обусловлено нормальной работой изоляции электрооборудования и составляет 363 кВ. Минимально допустимое рабочее напряжение ограничено условиями устойчивости и регулированием напряжения в сетях пониженного напряжения. Значения удельных потерь мощности на корону $\Delta P_{y,K}$ зависят от погодных условий: хорошая погода, сухой снег, дождь, изморозь.

При больших значениях напряженности электрического поля воздух вокруг проводника ионизируется, что приводит к самостоятельному разряду, коронному. Увеличение напряжения на проводе приводит к увеличению напряженности электрического поля и, соответственно, к усилению ионизационных процессов и росту объемного заряда. От характера погодных условий и зависит напряженность электрического поля и, следовательно, удельные потери активной мощности на корону. При хороших погодных условиях удельные потери активной мощности на корону имеют минимальные значения, а при ухудшении погоды увеличиваются в десятки раз.

Определим оптимальные значения напряжений при разной передаваемой мощности и разных погодных условиях, при которых будет выполняться критерий минимума потерь активной мощности. Результаты расчета сведем в таблицу.

Результаты расчетов

Параметр	$0,9 \times U_{ном}$	$U_{ном}$	$1,1 \times U_{ном}$
ΔP_H , МВт	0,434	0,351	0,290
ΔP_K , МВт	0,040	0,145	0,270
ΔP_{Σ} , МВт	0,474	0,496	0,56

Аналогичным образом вычисляем нагрузочные потери активной мощности и потери активной мощности на корону при передаваемой мощности в диапазоне $(0,2 \div 1,2) P_{нат}$ и погодных условиях при напряжениях 297, 330, 363 кВ. По вычисленным данным строим графики зависимостей, представленные на рис. 1 и 2.

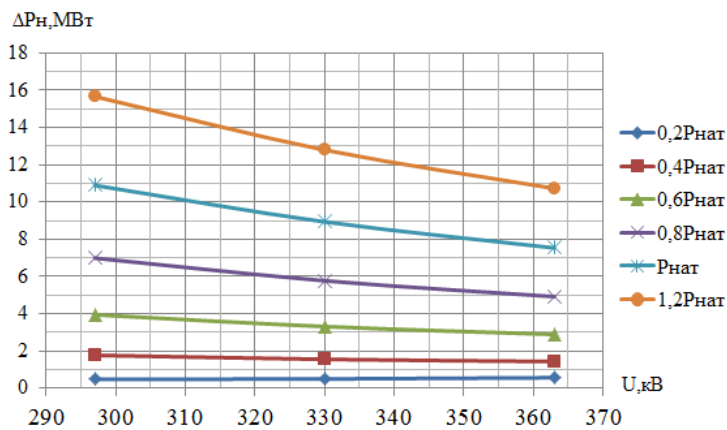


Рис. 1. Нагрузочные потери активной мощности $\Delta P_n = f(U)$ при разной передаваемой мощности

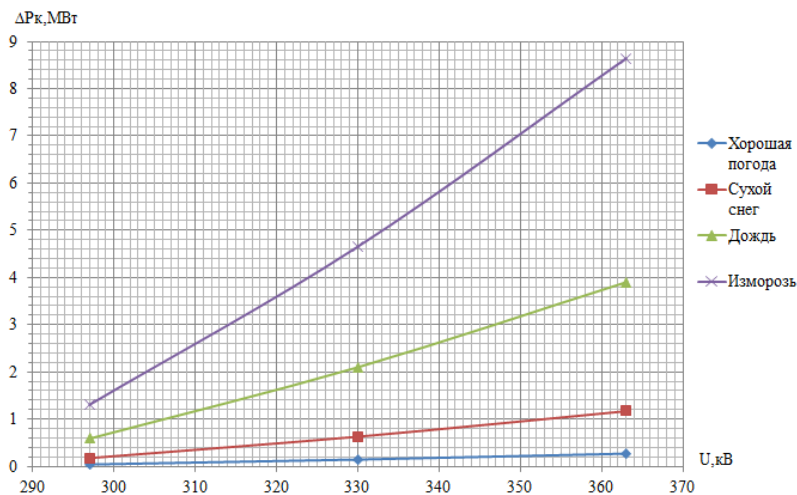


Рис. 2. Потери активной мощности на корону $\Delta P_k = f(U)$ при разных погодных условиях

Анализируя графики, представленные на рис. 1 и 2, можно сделать вывод: нагрузочные потери активной мощности уменьшаются при увеличении напряжения, а потери активной мощности на корону возрастают. Оптимизацию напряжения нужно проводить исходя из двух условий: мощность, передаваемая по линии, и состояние погодных условий.

Литература

- Идельчик, В. И. Электрические системы и сети : учеб. для вузов / В. И. Идельчик. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
- Поспелов, Г. Е. Электрические системы и цепи : учебник / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев – Минск : Технопринт, 2004. – 720 с.
- Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии : учеб. пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – 3-е изд., перераб. – КНОРУС, 2012. – 648 с.
- Лычев, П. В. Электрические сети энергетических систем : учеб. пособие / П. В. Лычев, В. Т. Федин. – Минск : Университетское, 1999. – 256 с.

УЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПОТРЕБЛЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНАХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Н. А. Мазаев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель О. Г. Широков

Электричество – самый универсальный и удобный вид энергии. Оно так прочно вошло в наш быт и производство, что даже кратковременное его отсутствие вызывает массу неудобств.

По разным причинам электроэнергия (ЭЭ) не рассматривалась как товар, имеющий соответствующее качество, определяемое совокупностью его характеристик, а также обладающее спецификой и особенностями, заключающимися в его одновременном производстве и потреблении.

Традиционный товар можно посмотреть, оценить его качество и цену, выбрать производителя и т. д. В отношении электрической энергии должно быть аналогично. Тенденции к такому подходу заложены в разработанной не так давно Концепции проекта Закона Республики Беларусь об электроэнергетике, предусматривающей формирование оптового и розничного электроэнергетических рынков в целях конкуренции субъектов электроэнергетики (производителей и энергоснабжающих организаций). Постановлением Совета министров от 17.10.2011 г. № 1394 приняты Правила электроснабжения, в которых электрическая энергия определена как товар, упорядочены отношения между энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии.

Также с 1 января 2012 г. в Республике Беларусь начали действовать новые «Правила электроснабжения», которые теперь могут защитить права потребителя электроэнергии в случае получения им некачественной электроэнергии со стороны энергоснабжающей компании. Согласно этому закону – весь ущерб, причиненный стороне потерпевшего, возмещается виновной стороной.

Сейчас можно сказать, что, несмотря на высокую значимость электроэнергии, вопросам ее качества у нас в стране должного внимания не уделяется. Сложность и актуальность вопроса обусловлена тем, что эта проблема напрямую затрагивает взаимоотношения потребителя и продавца электроэнергии. Причем если при покупке товара претензии к его качеству может предъявить покупатель, то в нашем случае все может быть и наоборот: виновником плохого качества электроэнергии может оказаться и потребитель. «Правила электроснабжения» устанавливают порядок взаимоотношений между потребителем и энергоснабжающей организацией, в том числе по таким вопросам, как условия снабжения и пользования электрической энергией. В Правилах она имеет статус товара соответствующего качества, которое определяется показателями качества электроэнергии (ПКЭ), отражающими соответствие ее параметров требованиям, установленным действующими ТНПА.

Для определения размера скидок и надбавок к тарифу на ЭЭ необходимо определять количество электроэнергии, потребленной в различных диапазонах значений показателей качества электроэнергии. Для этого необходимо иметь счетчики электроэнергии, фиксирующие ее потребление в различных диапазонах ПКЭ. При отсутствии таких счетчиков электроэнергии можно использовать приближенные методы измерения.

В рассматриваемом методе потребление электроэнергии можно считать пропорциональным току нагрузки. Это позволит выполнить расчет с достаточной для оценки точностью.

Таким образом, для данного метода достаточно иметь двухмерную гистограмму двух величин – тока нагрузки и рассматриваемого ПКЭ.

		Суммы по столбцам						
		0	17	22	24	28		
Диапазоны значений ПКЭ, %	4-5	3	1	11	4	5	24	22.7
	3-4	2	12	1	5	6	32	28.4
	2-3	1	1	2	7	8	19	23.0
	1-2	2	2	3	3	5	15	15.1
	0-1	1	1	2	2	4	10	10.8
			0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	

Диапазоны значений нагрузки, А

Рис. 1. Определение количества электроэнергии пониженного качества

Данную гистограмму можно получить при помощи прибора 43401. В каждой ячейке гистограммы приведена относительная длительность нахождения нагрузки в k -м интервале ее значений ($k = 1, 2, \dots, 5$) во время нахождения ПКЭ в j -м интервале его значений ($j = 1, 2, \dots, 5$). Из гистограммы следует что в диапазоне значений ПКЭ от 4 до 5 % нагрузка находилась 24 % времени, в диапазоне от 3 до 4 % – 32 % времени и т. д. (столбец «Сумма по сторонам»).

Доля энергии, % потребления, в j -м диапазоне ПКЭ определяется по формуле

$$d_j = \frac{\sum_{k=1}^i (t_{jk} I_k)}{\sum_{k=1}^i (t_{k\Sigma} I_k)} 100,$$

где t_{jk} – относительное время нахождения нагрузки в k -м диапазоне во время нахождения ПКЭ в k -м диапазоне; $t_{k\Sigma}$ – суммарное время нахождения нагрузки в k -м диапазоне при любом значении ПКЭ (сумма по столбцу k); I_k – среднее значение нагрузки в k -м диапазоне; l – число диапазонов нагрузки.

$$d_j = \frac{(3 \cdot 0,5 + 1 \cdot 1,5 + 11 \cdot 2,5 + 4 \cdot 3,5 + 5 \cdot 4,5)}{(9 \cdot 0,5 + 17 \cdot 1,5 + 22 \cdot 2,5 + 24 \cdot 3,5 + 28 \cdot 4,5)} 100 = 22,7 \%$$

Если, например, допустимое значение ПКЭ на ГРБП будет установлено в 3 %, то с пониженным качеством будет потреблено: $22,7 + 28,4 = 51,1$ % энергии.

Используя данный метод, можно рассчитать количество некачественной энергии по всем ПКЭ, допустимые значения которых устанавливаются в договоре в виде одного значения.

Хочется отметить, что, изучая последние документы и проекты, которые будут официально введены в странах СНГ в ближайшее время, вопросу учета количества электроэнергии, потребленной в различных диапазонах значений показателей качества электроэнергии, практически не было уделено внимания. В данных документах разрабатываются лишь более точные методики оценки ПКЭ, более совершенные методы измерения и определения источника искажений ПКЭ. Это говорит о том, что данное направление весьма мало изучено и мало исследовано. А ведь это непосредственно связано с точной оценкой «некачественной электроэнергии».

Стоит только вдуматься – за столь долгое время практически полностью изучены ПКЭ; разработаны целые комплексы, по их оценке; методики измерений... Но до сих пор мы не можем определить количество отпущенной некачественной электроэнергии. Данное направление напрямую связано с коммерческим учетом электроэнергии, и использование методов учета количества электроэнергии, потребленной в различных диапазонах значений показателей качества электроэнергии в совокупности с текущими методами, позволит сделать серьезный шаг вперед в нормировании и контроле качества электроэнергии.

Развитие сетей и внедрение новых электрических устройств только повышает актуальность проблем качества электроэнергии. Возрастающее количество нелинейной нагрузки, с одной стороны, ухудшает ПКЭ в сети, а применение чувствительных электронных устройств, с другой стороны, требует, чтобы эти показатели находились в жестко заданных пределах. Очевидно, что с развитием электроэнергетики актуальность нормирования и контроля параметров качества электроэнергии будет возрастать. Ключевыми моментами в вопросах КЭ являются законодательная база (построение отношений между энергоснабжающей организацией и потребителем) и наличие инженерных возможностей для выявления и устранения недопустимых отклонений ПКЭ.

Рассмотренный в этой работе метод является лишь одним из возможных путей расчета потребленной некачественной электроэнергии. Совершенствование и внедрение такого подхода позволит ускорить процесс развития нормирования и контроля параметров качества электроэнергии; совершенствование тарифов на ЭЭ и нормирование взаимоотношений потребителя и продавца электроэнергии.

Литература

1. Постановление Совета министров от 17.10.2011 г. № 1394.
2. Правилах электроснабжения Республики Беларусь.
3. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. – Энергоатомиздат, 1985.
4. Проект НТД ИКЭС «Методика контроля качества электрической энергии и определения источника нарушений (искажений) показателей качества». – 2017.

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИГНАЛОВ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

И. В. Чашечкин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. И. Зализный

На кафедре «Электроснабжение» планируется создание лабораторного стенда «Измерительные органы направления мощности», одним из основных элементов которого будет электронный фазорегулятор, позволяющий изменять фазовый сдвиг между напряжением и током в диапазоне $\pm 360^\circ$.

Электронный фазорегулятор разрабатывается на кафедре и будет выполнен на основе микроконтроллера, формирующего два сигнала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) с последующим преобразованием в сигналы синусоидальной формы.

Цель данного исследования: изучение существующих методов, позволяющих получить сигналы синусоидальной формы из сигналов с широтно-импульсной модуляцией.

Широтно-импульсная модуляция (англ. *Pulse-Width Modulation PWM*) – это способ изменения длительности прямоугольных импульсов с целью их последующего преобразования. Применение ШИМ позволяет повысить КПД электрических импульсных преобразователей, составляющих сегодня основу вторичных источников питания различных электронных аппаратов. Широтно-импульсную модуляцию применяют для регулировки яркости подсветки жидкокристаллических дисплеев сотовых телефонов, смартфонов, ноутбуков. Широтно-импульсная модуляция также используется в сварочных аппаратах, в автомобильных инверторах, в зарядных устройствах и т. д.

Одними из важнейших параметров ШИМ-сигналов являются скважность импульсов и коэффициент заполнения импульсов. Скважность S – это отношение периода сигнала T к длительности импульса $t_{и}$:

$$S = \frac{T}{t_{и}} = \frac{1}{D},$$

где D – коэффициент заполнения импульсов.

Несмотря на то что скважность и коэффициент заполнения могут использоваться в одинаковом контексте, их физический смысл отличается. Коэффициент заполнения обычно выражают в процентах (рис. 1).

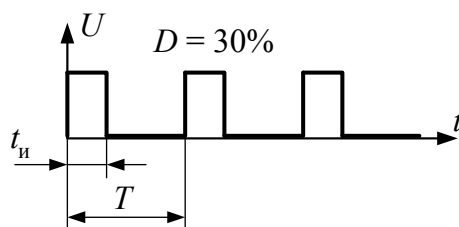


Рис. 1. ШИМ-сигнал с коэффициентом заполнения 30 %

Бывают ШИМ-сигналы с неизменной и изменяющейся частотой. В зависимости от этого существуют разные способы их получения. Во всех этих способах необходимым условием является применение операции сравнения опорного сигнала, задающего частоту ШИМ, и модулирующего сигнала, задающего значения скважно-

сти. В качестве опорного сигнала может использоваться линейно нарастающий сигнал (рис. 2, а) или синусоидальный сигнал (рис. 2, б).

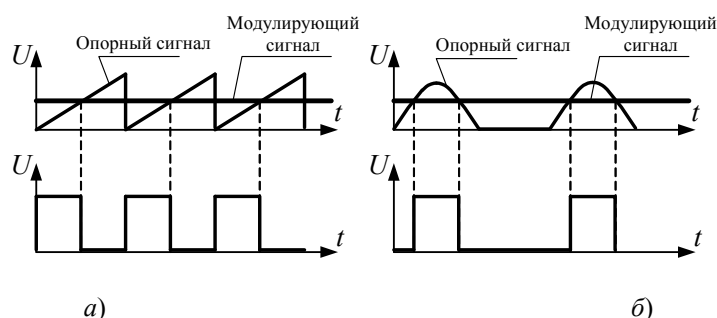


Рис. 2. Способы получения ШИМ-сигнала:
а – нарастающий; б – синусоидальный сигнал

С помощью микроконтроллеров эти способы реализуют программным путем, т. е. изменению опорного и модулирующего сигналов соответствуют изменения двоичных кодов.

Если модулирующий сигнал имеет синусоидальную форму, то коэффициент заполнения полученного ШИМ-сигнала будет пропорционален синусу.

Для обратного выделения модулирующего сигнала из ШИМ-сигнала используют фильтры низких частот. При подаче на вход такого фильтра периодического сигнала $U(t)$ с периодом T на его выходе будет присутствовать постоянная составляющая входного сигнала:

$$U_0 = \frac{k}{T} \cdot \int_0^T U(t) dt,$$

где k – коэффициент передачи фильтра.

Если $U(t)$ – это ШИМ-сигнал с амплитудой U_m и длительность импульсов t_n , то:

$$U_0 = \frac{k}{T} \cdot \int_0^T U_m dt = \frac{kU_m}{T} \cdot \int_0^{t_n} dt = \frac{kU_m t_n}{T} = kU_m D.$$

Таким образом, мгновенные значения U_0 прямо пропорциональны коэффициенту заполнения, т. е. определяются формой модулирующего сигнала. В силу того что фильтр низких частот частично пропускает и высокочастотные составляющие ШИМ-сигнала, на выходе фильтра будут присутствовать пульсации.

Для изучения особенностей получения синусоидальных сигналов на основе ШИМ-сигналов можно воспользоваться программой *Electronics Workbench*. На рис. 3 приведена схема, собранная в этой программе, для исследования ШИМ-сигналов с изменяющейся частотой.

Схема работает следующим образом. На входы компаратора DA1 подаются сигналы синусоидальной формы: опорный сигнал G2 с частотой 1 кГц и модулирующий сигнал G1 с частотой 50 Гц. На выходе компаратора формируется ШИМ-сигнал, имеющий уровни напряжения 0 и 5 В, что соответствует уровням, формируемым цифровыми схемами, например, микроконтроллерами. Далее полученный

сигнал поступает на фильтр низких частот, собранный на операционном усилителе $DA2$ и элементах $R1-R3$, $C1-C2$. Элементы фильтра рассчитаны как звено Рауха, настроенное на частоту 50 Гц.

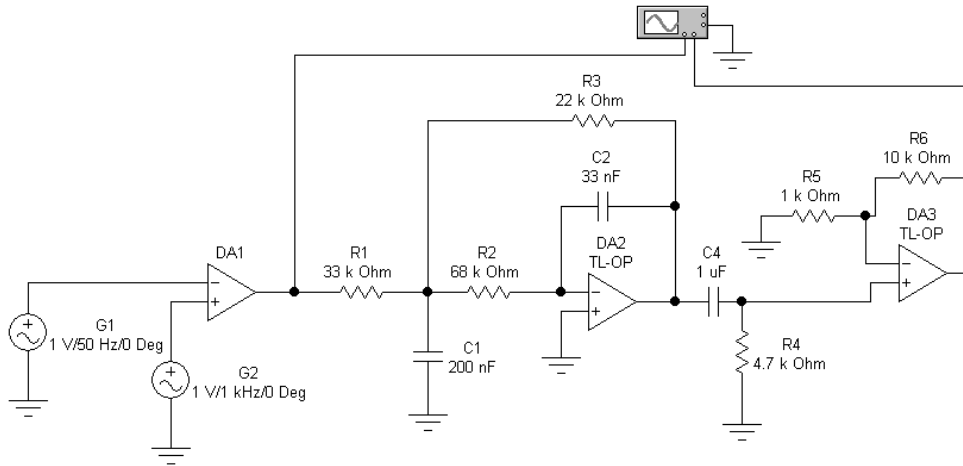


Рис. 3. Схема для исследования ШИМ-сигнала в программе *Electronics Workbench*

На элементах $R4$, $C4$ собран фильтр высоких частот, срезающий постоянную составляющую напряжения на выходе фильтра низких частот для получения синусоидального сигнала.

На операционном усилителе $DA3$ и элементах $R5-R6$ выполнен усилитель напряжения для увеличения амплитуды выдаваемого напряжения до уровня 10 В.

Осциллограммы работы схемы на выходах $DA1$ и $DA3$, полученные с помощью элемента «*Oscilloscope*», показаны на рис. 4.

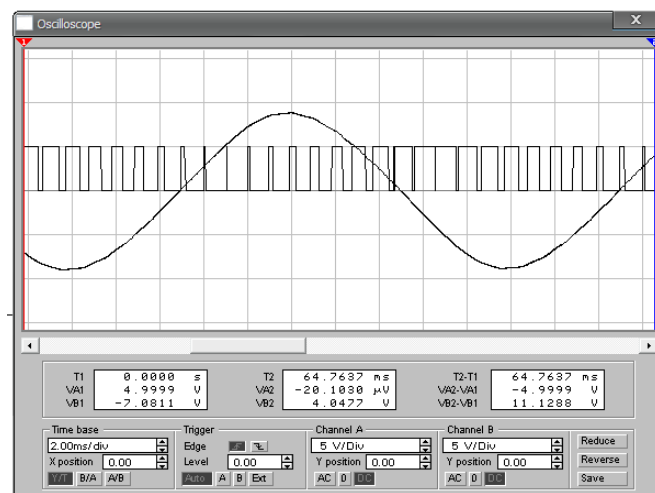


Рис. 4. Осциллограммы работы исследуемой схемы

Коэффициент искажения синусоидальности полученного сигнала составил 3,6 %.

Предложенная методика исследования будет использована для разработки алгоритмов программного обеспечения микроконтроллера и реализации аппаратной части в электронном фазорегуляторе.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА
ТОПЛИВА НА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ г. ГОМЕЛЯ****Е. В. Шеметова***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. Н. Новиков

В условиях социально-экономических преобразований значимость автомобильного транспорта в транспортной системе страны постоянно возрастает. Быстрыми темпами растет его вклад в обеспечение мобильности населения. Говоря о транспорте любого вида, мы в первую очередь имеем дело с бензином и дизельным топливом. Бензины и дизельное топливо низкого качества разрушающе действуют не только на ходовую и топливную систему двигателя внутреннего сгорания, но и являются причиной загрязнения окружающей среды.

Актуальность данного исследования заключается в том, что в настоящее время должен осуществляться особый контроль качества автомобильного топлива, так как выхлопные газы автомобилей, работающие на некачественном топливе, отравляют воздух, почву, воду, здоровье людей. От качества используемого топлива зависит работа автомобилей.

Анализ качества автомобильного топлива был проведен на пяти автозаправочных станциях г. Гомеля. На каждой из них были взяты пробы дизельного топлива и автомобильного бензина марок АИ-92 и АИ-95. Качество топлива проверялось по следующим показателям:

1. Наличие воды.
2. Наличие масел и содержание смол.
3. Наличие непредельных углеводородов и водорастворимых кислот и щелочей.
4. Определение плотности и вязкости топлива.
5. Определение октанового и цетанового числа топлива.
6. Определение фракционного состава топлива.

Рассмотрим более подробно такой показатель качества топлива, как октановое и цетановое число.

Октановое число бензина и цетановое число дизельного топлива было определено с помощью прибора ОКТАН-ИМ. Октановое число было определено исследовательским и моторным методами.

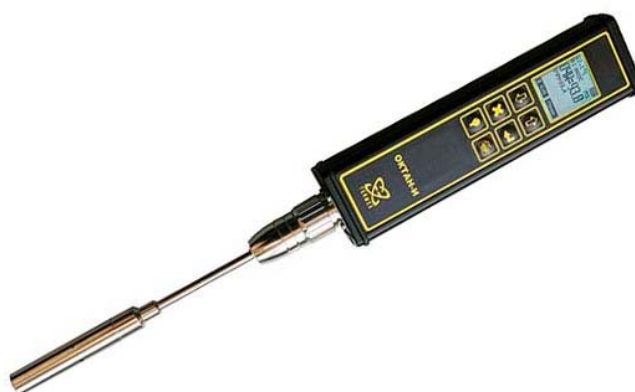


Рис. 1. Прибор ОКТАН-ИМ

Исследовательский метод характеризует детонационную стойкость бензина в условиях работы двигателя на частичной нагрузке (движение в городе). Моторный метод характеризует детонационную стойкость бензина в условиях работы двигателя на максимальных мощностях и при увеличенном тепловом режиме (движение за городом).

Полученные данные представим в виде графиков.

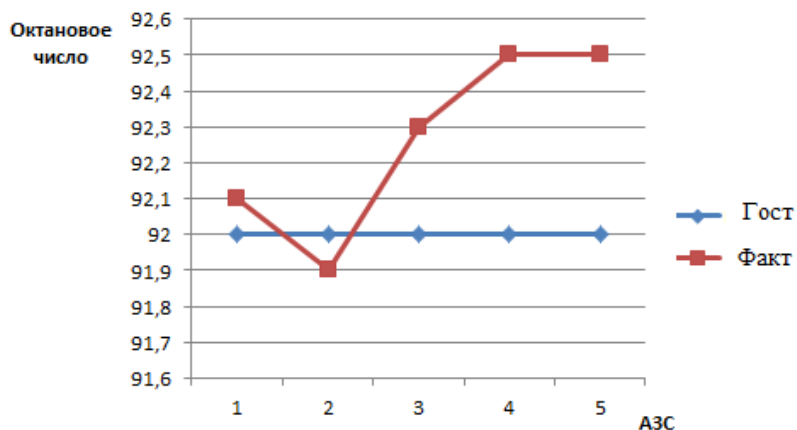


Рис. 2. Определение октанового числа бензина марки АИ-92 исследовательским методом

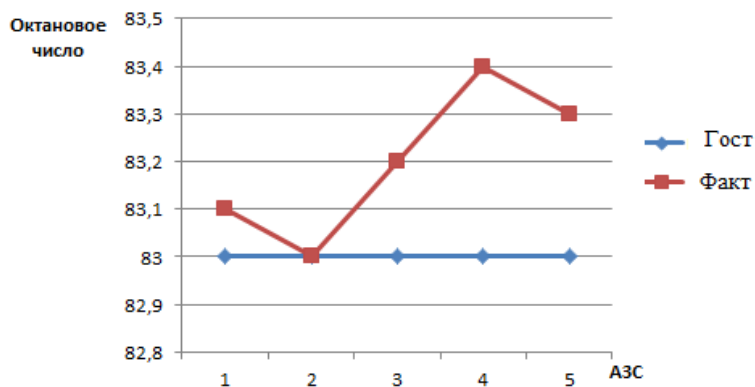


Рис. 3. Определение октанового числа бензина марки АИ-92 моторным методом

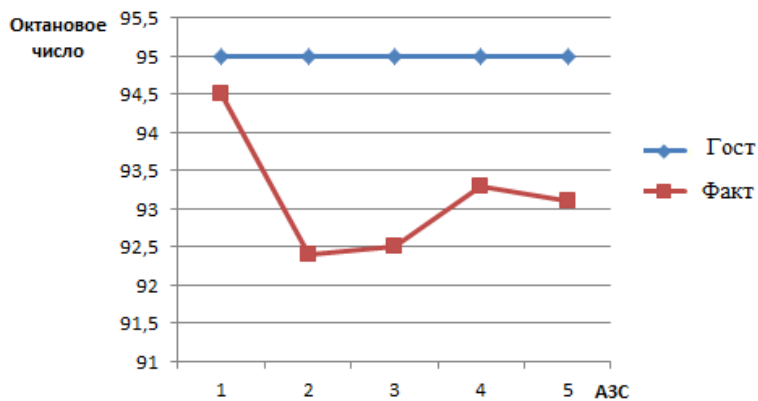


Рис. 4. Определение октанового числа бензина марки АИ-95 исследовательским методом

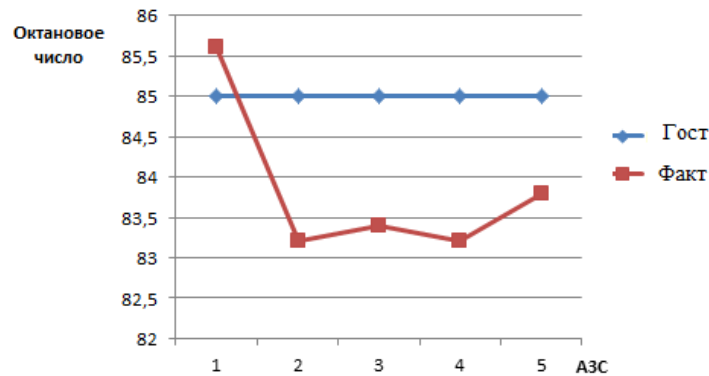


Рис. 5. Определение октанового числа бензина марки АИ-95 моторным методом

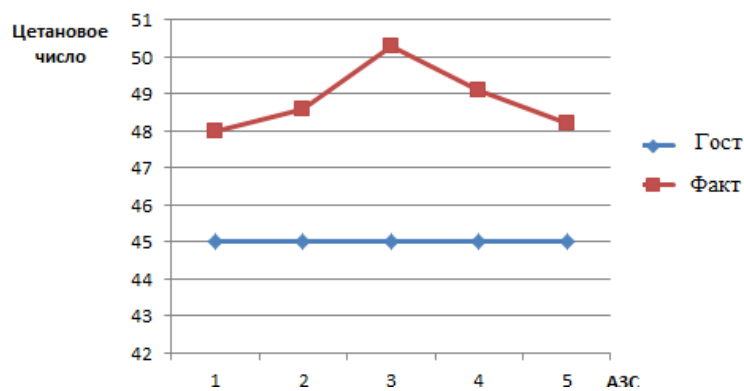


Рис. 6. Определение цетанового числа дизельного топлива

На основе графиков можно сделать следующие выводы:

1. Бензин марки АИ-92 удовлетворяет требованиям октанового числа как по исследовательскому (за исключением бензина на АЗС № 2), так и по моторному методам.

2. Бензин марки АИ-95 не соответствует требованиям октанового числа как по исследовательскому (за исключением бензина на АЗС № 1), так и по моторному методам.

3. Дизельное топливо полностью удовлетворяет требованиям цетанового числа.

В пробе бензина АИ-92 на АЗС № 5 было обнаружено наличие воды и непредельных углеводородов. Во всех остальных пробах бензина и дизельного топлива не было обнаружено воды, масел и смол, непредельных углеводородов, водорастворимых кислот и щелочей.

Литература

1. Гуреев, А. А. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив / А. А. Гуреев, Е. П. Серегин, В. С. Азев. – М. : Химия, 1984. – 200 с.
2. Беянин, Б. В. Технический анализ нефтепродуктов / Б. В. Беянин, В. Н. Эрих, В. Г. Корсаков. – Л. : Химия, 1986. – 184 с.
3. Митусова, Т. Н. Современные дизельные топлива и присадки к ним / Т. Н. Митусова, Е. В. Полина, М. В. Калинина. – М. : Техника, ТУМА ГРУПП, 2002. – 64 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА ПИТАНИЯ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

А. И. Беликова, А. А. Мигдаленок

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: В. В. Тодарев, А. В. Емелин

Одним из перспективных направлений развития колебательных электроприводов является импульсный асинхронный электропривод, работающий в режиме механического резонанса [1].

Подпитка механического колебательного контура активной энергией, равной энергии нагрузки, в этом случае осуществляется в наиболее благоприятной по энергетике двигателя момент – при номинальном скольжении.

Величина отдаваемой в колебательный контур энергии зависит от длительности импульса $T_{и}$. Это означает, что среднее за время импульса скольжение должно быть равно номинальному, т. е. $S_{ср.и} = S_{ном}$, причем максимальная длительность импульса будет при $S_{min} = 0$, т. е. когда максимальная угловая частота ротора равна угловой частоте поля статора, т. е. $\omega_{pmax} = \omega_1$.

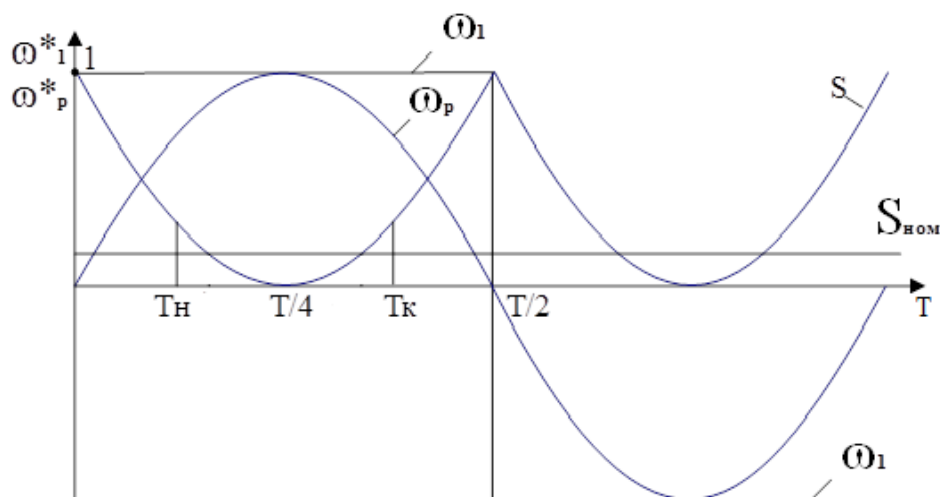


Рис. 1. Временные зависимости параметров колебательного движения

На рис. 1 показаны соотношения угловой частоты поля статора $\omega_1(t)$, вращения ротора $\omega_p(t)$, скольжение $S(t)$ за период колебательно движения. Принимаем, что в режиме механического резонанса

$$\omega_p = \omega_{pmax} \cdot \sin \Omega t, \quad (1)$$

где $\Omega = 2\pi f_k$; f_k – частота колебаний.

Режим $S_{min} = 0$ можно получить, введя в состав электропривода частотный преобразователь, а частоту подводимого к двигателю напряжения определять по максимальным параметрам механической резонансной колебательной системы, т. е. ω_{pmax} .

Поскольку предельные механические показатели маятникового колебательного электропривода определяются параметрами этой самой механической части, то восполнение активной механической энергии, расходуемой в колебательном контуре, в необходимых (достаточных) для устойчивого режима величинах со стороны асинхронного двигателя может осуществляться при любом скольжении, главное, чтобы

$$P_{2\text{ср}} = P_{\text{мех.ср}},$$

где $P_{2\text{мех.ср}} = P_{\text{мех.пол}} + \Delta P_{\text{мех}}$ – среднее за период колебания активная мощность нагрузки, включая полезную нагрузку $P_{\text{мех.пол}}$ и потери мощности $\Delta P_{\text{мех}}$.

Критерием выбора максимальной длительности импульса подпитки механического контура активной мощностью, или, что одно и то же, будет: $S_{\text{нач}}, S_{\text{мин}} (T_{\text{н}} \text{ и } T_{\text{к}})$.

$$S_{\text{ср}} = S_{\text{ном}};$$

$$S_{\text{ср}} = \frac{1}{T_{\text{н}} - T_{\text{нач}}} \int_{T_{\text{нач}}}^{T_{\text{кон}}} S(t) dt, \quad (2)$$

считая, что $S = 1 - \sin \Omega t$.

Если $\omega_{\text{рmax}} = \omega_1$, где ω_1 – синхронная угловая частота, получим и $\omega_{\text{р}} = \omega_{\text{рmax}} \cdot \sin \Omega t$, где $\Omega = 2\pi f_{\text{к}} \frac{1}{p}$ – угловая частота колебательного движения; $f_{\text{к}}$ – частота колебаний

Минимальная величина механической мощности, отдаваемой в сеть, стремится к нулю, к нулю стремится и длительность импульсов в области номинальных скольжений.

При решении интеграла появилась проблема невозможности выразить значение $T_{\text{н}}$ ($T_{\text{к}}$) из данного уравнения, а следовательно, и невозможность решить уравнение аналитическим (обычным) способом.

В дальнейшем было принято решение решить это уравнение для нахождения $T_{\text{н}}$ ($T_{\text{к}}$) приближенным методом.

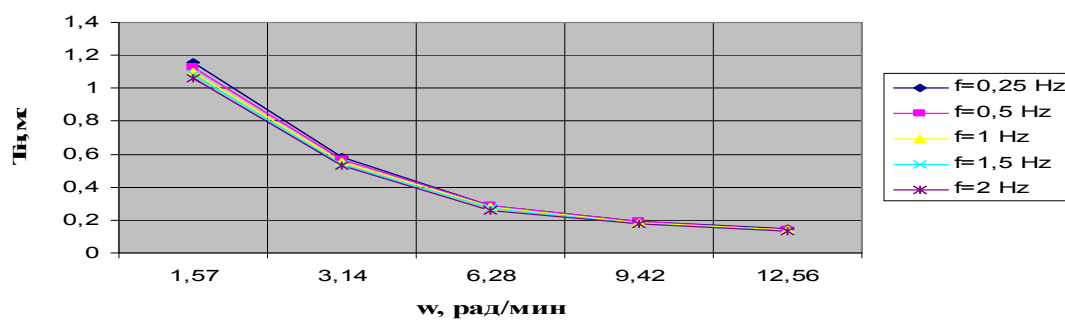
Исходя из этого была получена формула, с помощью которой мы произвели расчеты $T_{\text{н}}$ ($T_{\text{к}}$), по которому можно определить $S_{\text{нач}} = S_{\text{кон}}$, $S = 1 - \sin \Omega t$:

$$\frac{S_{\text{н}}}{4f} + \frac{S_{\text{н}}}{2\pi f} \cos \frac{1}{4f} 2\pi f - T_{\text{н}} S_{\text{н}} - \frac{S_{\text{н}}}{2\pi f} \cos 2\pi f T_{\text{н}} = 0,34 T_{\text{н}} - \frac{0,34}{4f}. \quad (3)$$

Были определены максимальные длительности импульсов $T_{\text{и}} = T_{\text{к}} - T_{\text{н}}$ в зависимости от угловой частоты вращения поля статора ω_1 и частоты колебаний $f_{\text{к}}$. Результаты решения приведены в табл. 1 и 2 и на рис. 2 и 3.

Результаты расчета T_H

	T_H				
	$f = 0,25 \text{ Hz}$	$f = 0,5 \text{ Hz}$	$f = 1 \text{ Hz}$	$f = 1,5 \text{ Hz}$	$f = 2 \text{ Hz}$
1,57	1,16	1,13	1,1	1,08	1,06
3,14	0,58	0,57	0,55	0,54	0,53
6,28	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26
9,42	0,193	0,188	0,183	0,18	0,177
12,56	0,145	0,1413	0,1375	0,135	0,1325

Рис. 2. Диаграммы расчета T_H

Результаты исследования колебательного контура при различных частотах

ω_1	S				
	$f = 0,25 \text{ Hz}$	$f = 0,5 \text{ Hz}$	$f = 1 \text{ Hz}$	$f = 1,5 \text{ Hz}$	$f = 2 \text{ Hz}$
52,36	0,97	0,94	0,88	0,82	0,76
78,54	0,98	0,96	0,92	0,88	0,84
104,72	0,985	0,97	0,94	0,91	0,88
157,08	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92
314,159	0,995	0,99	0,98	0,97	0,96

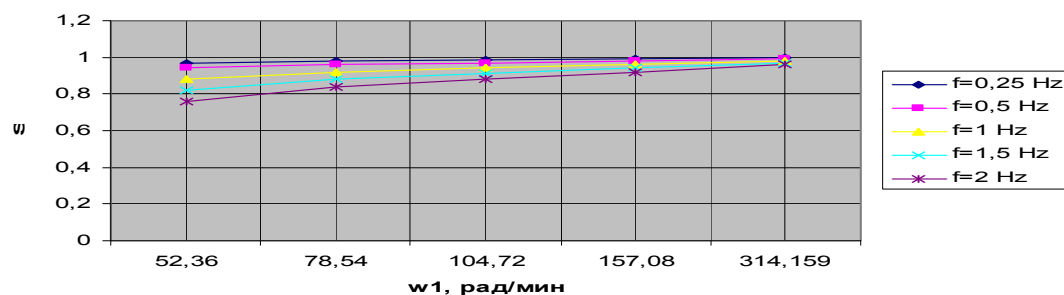


Рис. 3. Диаграммы исследования колебательного контура при различных частотах

Литература

1. Грачев, С. А. Безредукторный электромашинный привод периодического движения / С. А. Грачев, В. И. Луковников. – Минск : Высш. шк., 1991. – 160 с.

КОМПАКТНАЯ ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

С. В. Чучвага

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Г. И. Селиверстов

Электрическая энергия является наиболее удобным видом энергии. Широкое распространение электрической энергии обусловлено относительной легкостью ее получения, преобразования и возможностью ее передачи на большие расстояния.

Передача электроэнергии от источников к потребителям производится энергетическими системами, объединяющими несколько электростанций.

Развитие отраслей народного хозяйства предполагает постоянное увеличение производства электрической энергии. Это требует постоянного увеличения пропускной способности электропередач. Традиционные способы повышения пропускной способности решают данную задачу лишь частично, так как их внедрение ограничено рядом факторов. Кроме того, высокая плотность воздушных линий и экологические аспекты (отчуждение сельскохозяйственных земель и воздействие на окружающую среду) обостряют эту проблему.

В целях ускоренного развития энергетики следует создавать воздушные линии электропередачи с улучшенными удельными технико-экономическими показателями.

Цель данных исследований заключается в разработке двухкоаксиальной четырехсегментовой линии электропередачи повышенной мощности.

Для достижения поставленной цели потребуются решить следующие задачи:

- изучить конструкцию линии электропередачи, обладающую повышенной пропускной способностью;
- выбрать типы опор для подвешивания линии электропередачи;
- рассчитать электрические параметры линии повышенной мощности;
- разработать схемы фиксации проводов проектируемой линии;
- разработать схему подключения линии к конечным устройствам трансформаторной подстанции;
- произвести выбор оборудования.

В коаксиальной четырехсегментовой линии (рис. 1) провода каждой из двух расщепленных фаз (b , c), расположенные по контуру внешней окружности, разделены на две части (полуфазы). Провода каждой из полуфаз одной фазы размещены между проводами полуфаз другой фазы. Например, провода полуфазы $c1$ фазы c расположены между проводами полуфаз $b1$, $b2$ фазы b . Такая схема размещения проводов линии позволяет улучшить положительные свойства линий рассматриваемого типа. Объясняется это тем, что к проводам фазы a линии с двух диаметрально противоположных сторон примыкают провода полуфаз $b1$, $b2$ разделенной фазы b , $c1$ и $c2$ разделенной фазы c . В свою очередь, рядом с проводами каждой из полуфаз $b1$, $b2$, $c1$, $c2$ по контуру окружности радиусом $R2$ расположены провода двух разноименных фаз. Например, к проводам полуфазы $b1$ с трех сторон приближены провода фазы a и полуфаз $c1$, $c2$. Провода же полуфазы $b2$ максимально удалены от проводов полуфазы $b1$. Это обеспечивает усиление электромагнитного влияния в электропередаче, а тем самым улучшение ее электрических характеристик.

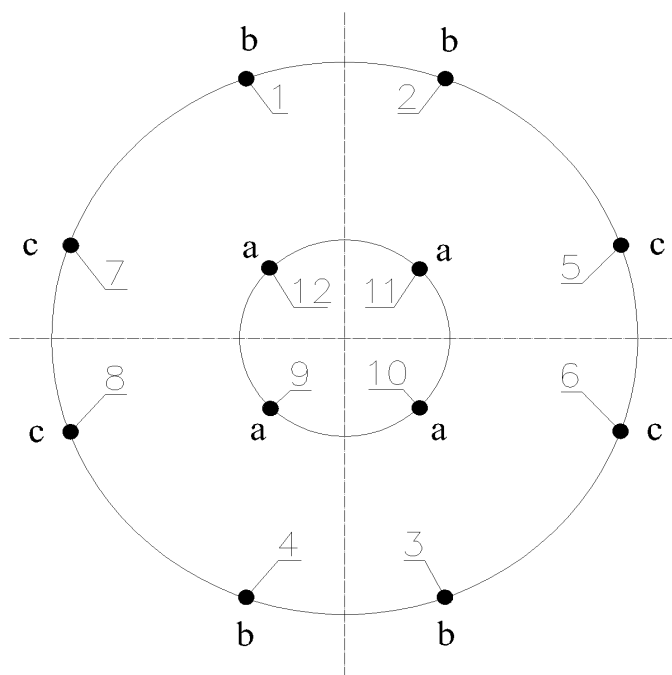


Рис. 1. Схема расположения проводов двухкоаксиальной четырехсегментной электропередачи в пространстве

Вариант крепления проводов многолучевой линии на опоре по рис. 1 приведен на рис. 2. Изоляционные элементы подвески образуют правильный четырехугольник с проводами контура внутренней концентрической окружности, закрепленными в его вершинах. Радиально расположенные провода разноименных фаз контура внешней концентрической окружности посредством изоляционных элементов связаны между собой и горизонтальной траверсой П-образной опоры. Предложенная подвеска обеспечивает жесткую и надежную фиксацию проводов рассматриваемого варианта линий. По аналогии с изложенной может быть выполнена подвеска проводов на П-образной опоре варианта двухкоаксиальной двухсегментной линии.

Результаты расчетов индуктивного сопротивления проводов приведены в таблице.

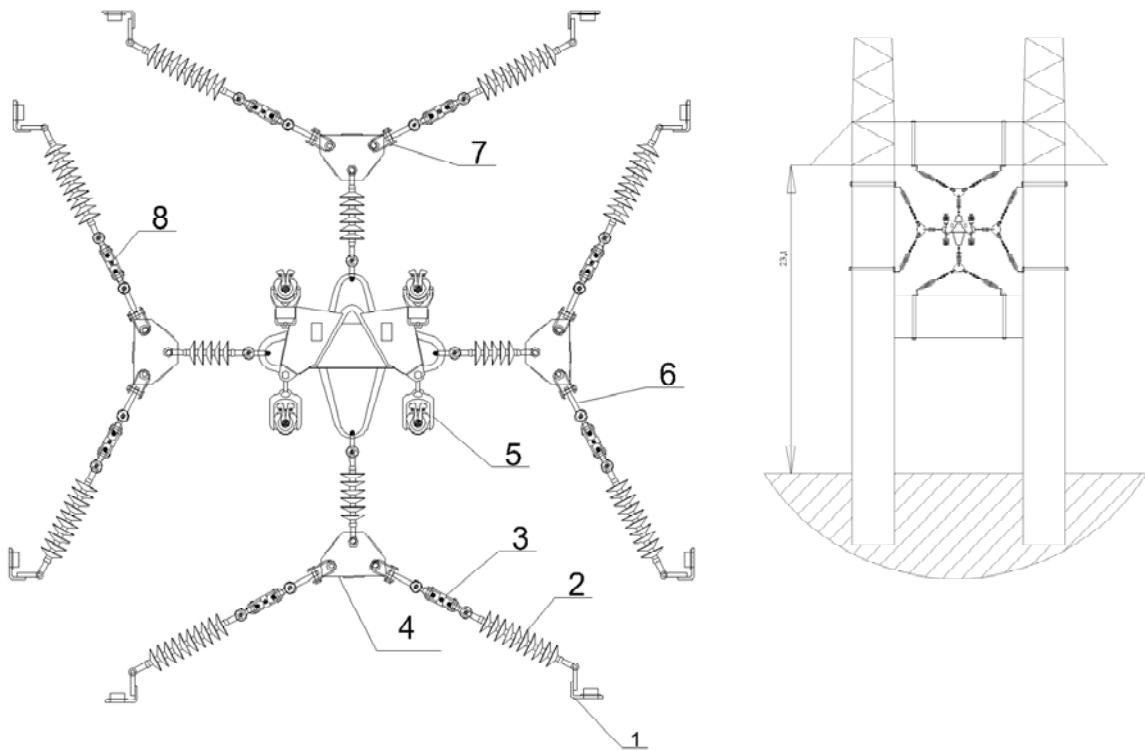
Результаты расчетов

Фаза проводника	№ пров. п/п	Координаты, м		Индуктивность L проводника, 10^{-4} Гн
		X	Y	
A	9	2,418	20,051	13,68206
A	10	3,018	20,051	13,68206
A	11	3,018	20,651	13,68206
A	12	2,418	20,651	13,68206
B	1	2,318	21,444	9,74292
B	2	3,118	21,444	9,74292
B	3	3,118	19,258	9,74292
B	4	2,318	19,258	9,74292
C	5	3,811	20,751	9,74292

Окончание табл.

Фаза проводника	№ пров. п/п	Координаты, м		Индуктивность L проводника, 10^{-4} Гн
		X	Y	
C	6	3,811	19,951	9,74292
C	7	1,625	20,751	9,74292
C	8	1,625	19,951	9,74292
Асимметрия параметров по проводникам				16,5464 %

В результате проведенных исследований был предложен вариант конструктивного исполнения линии электропередачи повышенной мощности. Это подтверждается результатами, полученными в данной работе.



Спецификация

1.	Накладка ОГ-2П
2.	Изолятор линейный стержневой полимерный НСК-120
3.	Поддерживающий зажим типа ПГ-3-12
4.	Коромысло двухцепное двухреберное 2КД-25-2
5.	Поддерживающий зажим типа 4ПГН-5-2а
6.	Звено промежуточное ПРВ-7/110-1
7.	Скоба U-образная СК-21-1А
8.	Провод марки АС-150/24

Рис. 2. Схема фиксации проводов на опоре

Литература

1. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети : учеб. для вузов / В. И. Идельчик. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
2. Правила устройства электроустановок. – М. : Энергоатомиздат, 1986.
3. Венников, В. А. Управляемые электропередачи переменного токоповышенной пропускной способности / В. А. Венников, Ю. Н. Астахов, В. М. Постолатий. – Электричество, 1971.
4. Электропередачи переменного тока повышенной мощности / В. Т. Федин [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 224 с.
5. Комар, А. В. Конструкции и электрические параметры трехкоаксиальных радиальных линий электропередач / А. В. Комар, Т. М. Киселева, Г. И. Селиверстов. – Энергетика вузов. – Гомель, 2009.

**ТРИГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ****П. А. Ковальчук***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. В. Овсянник

Рациональное использование природных ресурсов – одна из наиболее актуальных задач государственной политики каждой страны. Повышение термодинамической и технико-экономической эффективности генерации энергии различных видов необходимо рассматривать как один из возможных путей решения этой задачи.

Одним из возможных и при определенных условиях достаточно эффективных способов снижения затрат топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является создание установок комбинированной генерации энергии различных видов.

В энергетике Республики Беларусь большое распространение получили установки, реализующие принцип когенерации, т. е. одновременно производящие электрическую энергию и тепло. К таким установкам, в первую очередь, относятся теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) – электростанции с большой электрической и тепловой (до нескольких сот мегаватт) мощностями, используемые для организации централизованного электро- и теплоснабжения крупных населенных пунктов. В таких установках могут быть использованы различные устройства: газотурбинные и паротурбинные установки (ГТУ и ПТУ), газопоршневые агрегаты (ГПА).

Наряду с электроэнергией и теплом во многих случаях потребитель энергии нуждается в холоде (использование в определенных технологических процессах, хранение продукции, обеспечение комфортных условий жизнедеятельности человека). Дальнейшее свое развитие комбинированное энергоснабжение может получить при организации централизованного снабжения потребителей, наряду с электроэнергией и теплом, также и холодом. Такой процесс называют тригенерацией. Для выработки электроэнергии и тепла в тригенерационных установках могут быть использованы те же агрегаты, что и в когенерационных (ГТУ, ПТУ, ГПА). Холод в тригенерационных установках может быть произведен с применением термотрансформаторов различных типов: пароконденсационных (ПКТТ), воздушных (ВТТ) и абсорбционных (АБТТ), работающих в режиме холодильной машины. Термотрансформаторы в тригенерационных установках могут использоваться также для генерации тепла (работают в режиме теплового насоса) [2].

Основное преимущество тригенерационных установок по сравнению с когенерационными – повышение термодинамической эффективности энергоснабжения благодаря использованию тепла уходящих газов не только в зимние, но и в летние месяцы.

Исходя из анализа публикаций по данной тематике, можно выявить основные факторы, оказывающие влияние на выбор технических решений при создании три-

генерационных установок. Так, выбор схемных решений и оборудования для тригенерационных установок зависит от того, планируется ли новое строительство объектов потребления и генерации энергии либо речь идет об их модернизации или усовершенствовании. Каковы потребные электрическая, тепловая и холодильная мощности? Предполагается ли создание тригенерационных комплексов на базе объектов генерации, относящихся к большой или малой энергетике? Какова удаленность объекта потребления от объекта генерации? Какие это будут потребители, т. е. промышленные предприятия либо офисы, магазины, развлекательные центры, стадионы или жилые здания? Существенную роль при выборе технических решений играют предполагаемые режимы генерации. Это, в первую очередь, выработка тепла и холода в течение года: сезонная ли это генерация (зимой – тепло, летом – холод) либо совместная генерация (зимой и летом – тепло и холод) [1].

При создании тригенерационных комплексов следует учитывать обеспеченность энергией различных видов и цены на них в регионе и климатическую зону, где планируется внедрение комплекса.

Обилие возможных технических решений при создании тригенерационных установок определяется разными принципами работы энергогенерирующего оборудования, так и трансформаторов, генерирующих тепло и холод. Возможные варианты использования различных видов энергии для производства тепла и холода в тригенерационных установках приведены в таблице.

**Источники энергии для производства тепла и холода
для различных типов энергоустановок**

Тип генерирующей установки	Источник энергии, используемой для производства	
	тепла	холода
ПГУ	Отбор теплофикационной турбины	Отбор теплофикационной турбины Электроэнергия
ГТУ	Тепло уходящих газов	Тепло уходящих газов Электроэнергия
ПГУ	Отбор теплофикационной турбины Тепло уходящих газов	Отбор пара в ПГУ части Тепло газа на выхлопе ГТУ части Электроэнергия

Исходя из анализа источников энергии, используемой для производства тепла и холода, выделим тригенерационный комплекс, использующий ГТУ в качестве генерирующей установки. Если ГТУ предназначены для работы в режиме когенерации с одновременной выработкой электроэнергии и тепла и в них не предусмотрена генерация холода, то в тех условиях, когда тепло не потребляется, а электроэнергия требуется, высокотемпературные уходящие газы выбрасываются в окружающую среду с довольно высокой температурой. Это приводит не только к большим энергетическим потерям, но и к тепловому загрязнению окружающей среды. Поэтому использование уходящих газов ГТУ для генерации холода в трансформаторах позволяет повысить термодинамическую эффективность благодаря утилизации сбросного тепла высокого температурного потенциала.

В качестве характеристики термодинамической эффективности тригенерационной установки в настоящей работе рассматривается коэффициент использования тепла топлива (КИТТ). КИТТ представляет собой отношение: в знаменателе энергия, выделившаяся в котле при сжигании топлива, в числителе для когенерационной ус-

тановки – сумма электрической энергии и тепла, для тригенерационной – сумма электрической энергии, тепла и холода [3]. Зависимости КИТТ для когенерационной и тригенерационной установок от температуры наружного воздуха, т. е. от отопительного и неотопительного периода, приведены на рис. 1. Из этого рисунка видно, что при отключении отопительной нагрузки, когда тепло используется только для горячего водоснабжения, КИТТ для когенерационной установки резко падает и затем остается практически постоянным. При работе установки в тригенерационном режиме в неотопительный период КИТТ падает незначительно, и этот перепад характеризуется тем, что начинает возрастать необходимость в холоде.

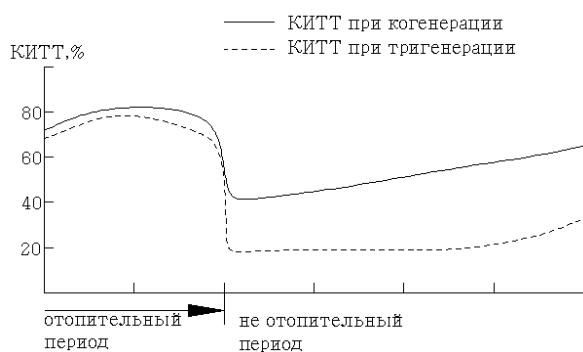


Рис. 1. Зависимости КИТТ для когенерационной и тригенерационной установок от температуры наружного воздуха

Исходя из нужд конкретного объекта в потреблении и экономии энергии, КИТТ будет стремиться к постоянной величине.

В настоящей работе рассматривается тригенерационный комплекс на базе мини-ТЭЦ, использующей ГТУ в качестве генерирующей установки. Производство холода осуществляется с помощью термотрансформатора абсорбционного типа (АБТТ). Данная комбинация оборудования объясняется тем, что АБТТ использует низкопотенциальное тепло уходящих дымовых газов ГТУ для получения холода, иначе это тепло выбрасывалось бы в атмосферу. Принципиальная схема тригенерации на базе ГТУ приведена на рис. 2.

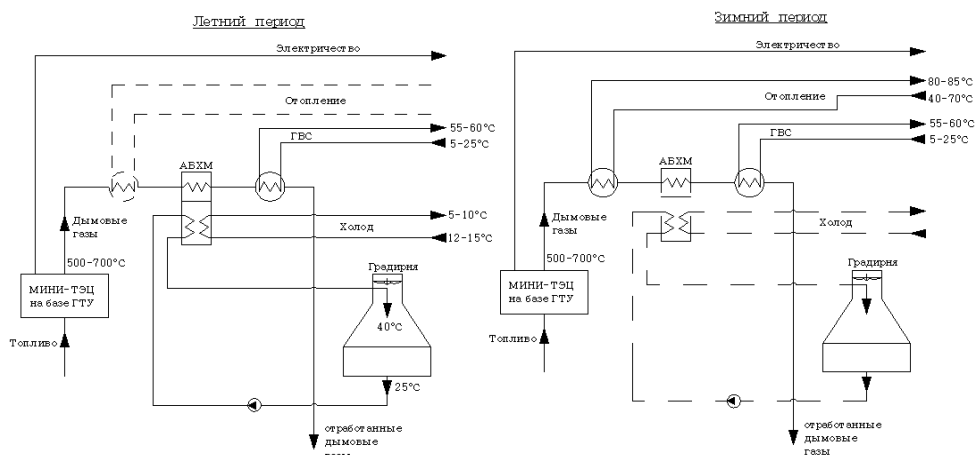


Рис. 2. Структурная схема энергоснабжения потребителя от объекта генерации с газотурбинной установкой и термотрансформатором абсорбционного типа

В качестве хладоносителя, отправляемого потребителю, в АбТТ используется вода, которая является простой в использовании и не загрязняет окружающую среду и благодаря своим теплофизическим свойствам позволяет доставить потребителю холод требуемых параметров. Холод предоставляется в виде холодной воды, температура которой выбирается исходя из требований потребителя и обычно составляет 5–10 °С.

Сравнивая выбранную комбинацию оборудования тригенерационной установки с другими, можно существенно выделить первую. В ПТУ, ПГУ, ДВС, работающих совместно с пароконденсационным термотрансформатором (ПКТТ), для производства холода необходим теплофикационный отбор и электроэнергия, последняя используется для работы компрессора ПКТТ и другого оборудования. Тригенерационный комплекс и оборудование, входящее в него, главным образом зависит от потребителя, его требований к тому или иному виду энергии, причем при грамотном подборе оборудования установка быстро окупится [1].

В данной работе рассматривались различные варианты тригенерационных установок, но была выделена установка на базе ГТУ и АбТТ, так как данная комбинация оборудования позволяет рационально использовать низкопотенциальное тепло уходящих газов ГТУ, сэкономить на топливе и уменьшить тепловые потери установки, что позволяет повысить ее термодинамическую эффективность. Применение тригенерационных установок позволит обеспечить централизованное хладоснабжение наряду с теплом и электроэнергией конкретное предприятие, торговый центр, стадион и т. д., что является одним из перспективных решений в области энергетики и грамотном природопользовании.

Литература

1. Клименко, А. В. Особенности комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода на базе парогазовой установки / А. В. Клименко, В. С. Агабабов, А. А. Рогова // Теплоэнергетика. – 2015. – № 3. – С. 5–19.
2. Клименко, А. В. Схемы ПГУ-КЭС и ПГУ-ТЭЦ с системами одновременного совмещенного производства тепла и холода / А. В. Клименко, В. С. Агабабов, А. А. Рогова // Энергоснабжение и водоподготовка. – 2014. – № 1, т. 87. – С. 20–23.
3. Клименко, А. В. Схемы тригенерационных установок для централизованного энергоснабжения / А. В. Клименко, В. С. Агабабов, И. П. Ильина // Теплоэнергетика. – 2016. – № 6. – С. 36–43.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПРИ ПОМОЩИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Н. А. Дорохова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. С. Трошев

В настоящее время все более актуальным становится вопрос о более полном использовании энергии. Выброс тепла в атмосферу не только создает дополнительное давление на окружающую среду, но и увеличивает затраты владельцев котельных.

Потеря теплоты с уходящими газами занимает основное место среди тепловых потерь котла и составляет 5–12 % вырабатываемой теплоты. Температуру дымовых газов можно снизить за счет применения методов утилизации тепла, в результате че-

го их теплота будет полезно использована. Дополнительно к этому может быть использована теплота конденсации водяных паров, которые образуются при сжигании топлива. Современные технологии позволяют более полно использовать теплоту уходящих газов и увеличить КПД котла, рассчитанного по низшей теплоте сгорания, вплоть до значения в 111 %.

Все известные теплоутилизаторы можно разделить на контактные, поверхностные, а также устройства с промежуточным теплоносителем. Поверхностные теплоутилизаторы – это традиционные калориферы, которые размещаются непосредственно в газоходе после печи (котла) и имеют серьезные недостатки, ограничивающие их применение. Аппараты с жидким промежуточным теплоносителем (обычно это вода) получили название контактных теплообменников с активной насадкой (КТАН).

В данной работе предлагается применение схемы утилизации тепла дымовых газов с использованием теплового насоса, которая включает в себя преимущества теплоутилизаторов с активными насадками и вместе с тем позволяет избежать ее недостатков. С помощью данной схемы становится возможным максимальное использование теплоты от конденсации водяных паров, но при этом вода не будет загрязняться вредными веществами.

Рассмотрим принцип работы схемы, приведенной на рис. 1 (разделим данную схему на 4 контура):

По первому контуру вода, приходящая от потребителя с температурой примерно равной 30–70 °С, при помощи насоса НЗ подается в абсорбер и конденсатор. От абсорбера и конденсатора отводится теплота соответствующих процессов сорбции и конденсации, которая передается нагреваемому теплоносителю – сетевой воде. Тем самым вода, поступающая в котел, подогревается.

По второму контуру дымовые газы после котла с температурой 130–190 °С поступают в экономайзер, где происходит их охлаждение водой до температуры примерно равной 40–50 °С. После экономайзера вода, нагретая дымовыми газами до температуры 30–40 °С насосом Н2, подается в испаритель, где она отдает свое тепло на испарение капель хладагента-воды. Охлажденная вода после испарителя вновь поступает в экономайзер.

По третьему контуру, собственно АБТН, хладагент-вода попадает в испаритель. В условиях глубокого вакуума капли хладагента испаряются и забирают тепло из охлаждаемой воды, которая возвращается в экономайзер для охлаждения дымовых газов. Попадающие в абсорбер капли концентрированного раствора бромида лития (LiBr) абсорбируют пары хладагента-воды. Полученный после процесса абсорбции раствор бромида лития с помощью насоса Н1 направляется в генератор. В генераторе из раствора выпаривается часть воды, что восстанавливает изначальную концентрацию раствора LiBr. Выпаренная вода-хладагент из генератора попадает в конденсатор, где происходит процесс ее конденсации и передача теплоты сетевой воде. После этого полученный жидкий хладагент вновь попадает в испаритель и испаряется, забирая при этом тепло из окружающего пространства.

И наконец, четвертый контур используется в качестве источника высокотемпературной теплоты.

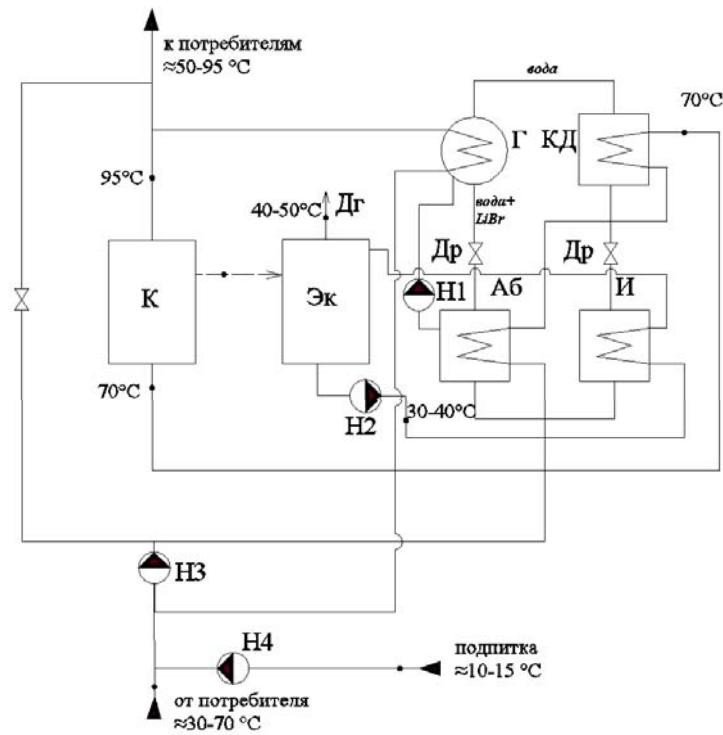


Рис. 1. Схема утилизации теплоты дымовых газов с использованием теплового насоса

Произведем расчет тепловой схемы котельной для среднего за отопительный период режима работы:

Коэффициент снижения расхода теплоты:

$$k_{o.b} = \frac{t_{в.н} - t_{н}}{t_{в.н} - t_{н.о}} = \frac{18 - (1)}{18 - (-24)} = 0,45.$$

Зададимся значениями отпуска теплоты на отопление и вентиляцию для максимально-зимнего режима $Q'_{o.b} = 1$ МВт, а также коэффициента полезного действия котлоагрегата $\eta = 0,92$.

Отпуска теплоты на отопление и вентиляцию для среднего за отопительный период режима работы, МВт:

$$Q_{o.b}^{cp} = k_{o.b} Q'_{o.b} = 0,45 \cdot 1 = 0,45 \text{ МВт.}$$

Секундный объем дымовых газов, $\frac{M^3}{c}$:

$$V_{д.г} = V_{г}^д B_p = 10,5 \cdot 0,0322 = 0,338 \frac{M^3}{c},$$

где B_p – расчетный расход топлива, $\frac{M^3}{c}$;

$$B_p = \frac{Q_{к.а}}{\eta Q_H^p} = \frac{1}{0,92 \cdot 33,73} = 0,0322 \frac{\text{М}^3}{\text{с}}.$$

Количество утилизируемой теплоты в конденсационном экономайзере, кВт:

$$\Delta Q_{\text{эк}} = Q_{\text{снижл}} + Q_{\text{конд}},$$

где $Q_{\text{снижл}}$ – количество утилизируемой теплоты за счет снижения температуры уходящих газов, кВт:

$$Q_{\text{снижл}} = c_{\text{д.г}} V_{\text{д.г}} (t'_{\text{д.г}} - t''_{\text{д.г}}) = 1,042 \cdot 10^3 \cdot 0,338(130 - 40) = 31,698 \text{ кВт};$$

$Q_{\text{конд}}$ – количество утилизируемой теплоты за счет конденсации водяных паров, кВт:

$$Q_{\text{конд}} = r V_{\text{д.г}} (r_{\text{H}_2\text{O}}' - r_{\text{H}_2\text{O}}'') = 2000 \cdot 0,338(0,14 - 0,07375) = 44,785 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{эк}} = 31,698 + 44,785 = 76,483 \text{ кВт}.$$

Прирост КПД составляет:

$$\Delta \eta = \frac{\Delta Q_{\text{эк}}}{Q_{\text{о.в}}} 100 = \frac{76,483}{450} 100 = 16,996 \text{ \%}.$$

Рассчитаем экономический эффект от внедрения технологии.

Удельные расходы топлива на выработку тепловой энергии котельной, $\frac{\text{кг у. т.}}{\text{Гкал}}$:

$$v_{\text{уд}}^{\text{было}} = \frac{142,86}{\eta} 100 = \frac{142,86}{92} 100 = 155,283 \frac{\text{кг у. т.}}{\text{Гкал}};$$

$$v_{\text{уд}}^{\text{стало}} = \frac{142,86}{92 + 16,996} 100 = 131,069 \frac{\text{кг у. т.}}{\text{Гкал}}.$$

Годовая экономия условного топлива, $\frac{\text{т у. т.}}{1 \text{ МВт} \cdot \text{год}}$:

$$B_{\text{год}} = (v_{\text{уд}}^{\text{было}} - v_{\text{уд}}^{\text{стало}}) Q_{\text{год}},$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовая выработка тепловой энергии, Гкал:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{о.в}} k_{\text{о.в}} \cdot 0,86 \cdot 24 \cdot 188 = 0,45 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 24 \cdot 188 = 1746,144 \text{ Гкал};$$

$$B_{\text{год}} = (155,283 - 131,069) 10^{-3} \cdot 1746,144 = 42,281 \frac{\text{т у. т.}}{1 \text{ МВт} \cdot \text{год}}.$$

Таким образом, использование схемы утилизации теплоты дымовых газов с применением теплового насоса позволит сэкономить 42 т у. т. в год на 1 МВт установленной мощности.

Преимущества схемы утилизации теплоты дымовых газов на базе абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов (АБТН):

1. Вода после экономайзера, загрязненная вредными веществами из дымовых газов, в частности оксидами азота и углекислотой, циркулирует по замкнутому контуру и не идет к потребителю, не используется для нужд ГВС.

2. Обеспечивается глубокая утилизация теплоты дымовых газов котельного агрегата.

3. Нет роста аэродинамического сопротивления, отсутствует необходимость применения рециркуляционного насоса.

4. Тепловая энергия получается фактически из ничего.

Таким образом, применение разработанной схемы с использованием теплового насоса обеспечит: глубокую утилизацию теплоты дымовых газов котельного агрегата и тем самым уменьшение теплового загрязнения окружающей среды; существенный прирост КПД котельного агрегата (более 100 %); получение тепловой энергии при минимальных затратах электроэнергии; полезное использование загрязненной воды после экономайзера за счет циркуляции ее по замкнутому контуру.

УСТОЙЧИВАЯ РАБОТА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Н. В. Чиж

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. О. Добродей

Напряжение является показателем качества электроэнергии. Отклонение напряжения в ту или иную сторону от номинального значения ухудшает условия работы энергоприемников потребителей: снижается производительность механизмов и коэффициент полезного действия установок, сокращается срок службы электрооборудования, появляется брак выпускаемой продукции и прочее. Поэтому в нормальном режиме работы системы электроснабжения допускается отклонение напряжения у потребителей не более чем на $\pm 5\%$ номинального значения. В ненормальном (послеаварийном) режиме работы допускается снижение напряжения не более чем на 10 % номинального.

Напряжение у потребителей зависит от напряжения на шинах электрической станции, перетока мощности по воздушным линиям и коэффициента трансформации трансформатора понижающей подстанции. Следовательно, воздействовать на напряжения у потребителей можно, изменяя: напряжение на шинах электростанции; реактивную мощность, передаваемую по линии; коэффициент трансформации трансформатора понижающей подстанции.

Регулировать значение напряжения на шинах электростанции и изменять значение реактивной мощности можно путем изменения тока возбуждения генераторов станции, а также синхронных компенсаторов и двигателей системы электроснабжения. Эту задачу выполняют устройства автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронных машин. Поэтому рассмотрение вопроса о влиянии системы регулирования возбуждения генератора на его устойчивую работу и устойчивую работу

энергосистемы в целом является всегда актуальным как в Республике Беларусь, так и за рубежом.

Целью исследований является рассмотрение различных систем регулирования возбуждения турбогенератора, их влияние на устойчивую работу турбогенератора, оценка колебательной и динамической устойчивости при параллельной работе генератора с сетью с различными системами возбуждения на основании линейных моделей генератора и автоматического регулятора возбуждения.

Модель должна обеспечивать воспроизведение основных характеристик эксплуатируемых АРВ, влияющих на качество электромеханических переходных процессов. К ним можно отнести ограничения минимального и максимального возбуждения, форсировку возбуждения, демпфирование качаний и стабилизацию собственного и группового движения, зависимость возбуждения от режима сети и частоты вращения ротора генератора.

Исследования колебательной и динамической устойчивости при различных системах возбуждения генератора проходили на базе Гомельской ТЭЦ-2, в связи с предусматриваемой модернизацией тиристорной системы независимого возбуждения турбогенератора ТГ № 2.

Недостатки существовавшей системы:

- система являлась медленнодействующей и не соответствовала требованиям действующего стандарта;
- ограничитель минимального возбуждения не обеспечивал устойчивости генератора при внешних возмущениях в режиме недовозбуждения;
- содержала элементы и составные части, отработавшие установленный по нормативной документации срок службы;
- недостаточная надежность системы в связи с отсутствием дублирующего канала управления.

При проведении расчетов электромеханических переходных процессов рассмотрены следующие варианты модернизации системы возбуждения:

- модернизация с заменой на новую тиристорную независимую систему возбуждения (СТН);
- модернизация с заменой на новую статическую тиристорную систему самовозбуждения (СТС).

Оценка колебательной устойчивости. Исходными данными для расчетов являются данные по основному оборудованию (генератор, АРВ, возбудитель, регулятор скорости, турбина, котел); данные о режимах работы станции (максимум и минимум нагрузки в отопительный и межотопительный периоды, допустимые нагрузки и средние мощности по сечениям линии, временные диаграммы работы противоаварийной автоматики).

Результаты расчетов позволяют сравнивать варианты реконструкции системы возбуждения, исходя из критериев сохранения статической устойчивости турбогенератора при достижении предельных значений передаваемой мощности, обеспечения эффективного демпфирования возникающих в энергосистеме переходных процессов, а также выбрать настройки АРВ.

На основании данных о режимах работы генератора рассчитанное значение эквивалентного внешнего сопротивления нагрузки ($X_{вн}$) составило 0,15 о. е. Параметры нормальных рабочих режимов в относительных единицах при базисной мощности, равной номинальной мощности генератора, и базисном напряжении, равном номинальному напряжению генератора, представлены в таблице.

Результаты исследований и параметры нормальных рабочих режимов

$P_{\text{ген}}$		$Q_{\text{ген}}$		$U_{\text{ген}}$		$X_{\text{вн}}$, о. е.	$U_{\text{с}}$, о. е.	E_q , о. е.	E_{qn} , о. е.	Полный угол, град.	Угол ген., град.	Угол по линии, град.
МВт	о. е.	МВар	о. е.	кВ	о. е.							
187	0,85	-40	-0,11	15,01	0,95	0,15	1,0	1,9	2,75	88	81	8
						0,5	1,2			103		22
187	0,48	75	0,55	16,08	1,02	0,15	0,95	2,76	2,75	47	39	8
						0,5	0,86			68		29

Произведен сравнительный анализ устойчивости работы турбогенератора (ТГ) с СТН и СТС, а также способности демпфировать переходные процессы. Для этого на основании данных результатов испытаний, выполненных расчетов $X_{\text{вн}}$ и нормальных режимов проанализированы и аналитически построены ориентировочные области колебательной устойчивости ТГ и переходные процессы в генераторе при малых возмущениях на основании линейных моделей ТГ и АРВ.

Области колебательной устойчивости ТГ и переходные процессы при малом возмущении рассмотрены для значений $X_{\text{вн}}$:

- 0,15 о. е. – значение $X_{\text{вн}}$ при нормальном режиме работы энергоузла, рассчитанное по результатам испытаний ТГ;

- 0,5 о. е. – значение $X_{\text{вн}}$ в условиях ремонтных и аварийных режимов работы энергоузла, увеличившегося в результате ослабления связи ТГ с энергосистемой.

Рассмотрены результаты расчетов переходных процессов параметров генератора (отклонение напряжения, отклонение полного угла, отклонение частоты напряжения, отклонение ЭДС) во времени при малом возмущении для аналогичных режимов по $P_{\text{ген}}$, $Q_{\text{ген}}$, $U_{\text{ген}}$ для рассматриваемых вариантов систем возбуждения.

Оценка динамической устойчивости. Произведен анализ запаса динамической устойчивости для обеспечения динамической устойчивости при наиболее тяжелых нормативных возмущениях в узле Гомельской ТЭЦ-2. Временные диаграммы для моделирования этих возмущений были приняты в соответствии с данными, предоставленными электростанцией.

Из анализа следует, что новая СТН обеспечивает более быструю форсировку возбуждения, чем существующая, а также более интенсивное демпфирование послеаварийных колебаний.

Замена системы возбуждения на СТС приведет к снижению запасов динамической устойчивости по сравнению с заменой на тиристорное независимое возбуждение и по сравнению с эксплуатирующейся в настоящее время системой независимого возбуждения при возмущениях, сопровождающихся глубокими и продолжительными просадками напряжения.

Снижение запасов динамической устойчивости в ряде схемно-режимных ситуаций, в свою очередь, может привести к необходимости снижения допустимых перетоков по контролируемым линиям и сечениям энергосистемы или к ограничению выдачи мощности станции по условиям обеспечения устойчивости при авариях, сопровождающихся глубокими просадками напряжения.

Зависимость предельного перетока мощности по контролируемому сечению от кратности форсировки возбуждения представлена на рис. 1.

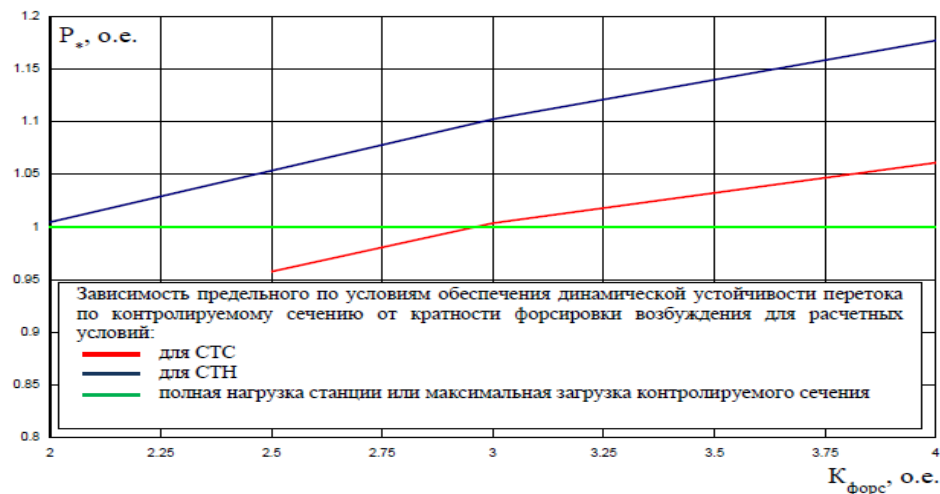


Рис. 1. Зависимость предельного перетока мощности по контролируемому сечению от кратности форсировки возбуждения

Произведенные сравнительные анализы колебательной и динамической устойчивости с различными системами возбуждения позволяют сделать следующие выводы:

- генератор ТГ № 2 работает в условиях достаточно сильной связи с энергосистемой ($X_{\text{вн}} = 0,15$ о. е.);
- при работе с новой тиристорной системой возбуждения СТН с АРВ сильного действия будет обеспечен большой запас устойчивости и лучшее затухание переходных процессов при малых возмущениях;
- СТН и СТС при одинаковых настройках АРВ обеспечивают практически одинаковую колебательную устойчивость;
- динамическая устойчивость параллельной работы станции с энергосистемой будет обеспечиваться при любом из рассматриваемых вариантах модернизации во всех схемно-режимных ситуациях, но наибольший запас динамической устойчивости обеспечит вариант установки на генераторе новой СТН с кратностью форсировки 2 о. е.;
- с позиции обеспечения системной надежности может быть реализован любой из вариантов модернизации.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

А. А. Воронович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. О. Добродей

Под расчетом систем электроснабжения понимается выбор сечений проводников и расчет защиты их от аномальных режимов. Провода и кабели должны выдерживать допустимый нагрев длительным расчетным током в нормальном и в послеаварийном режимах работы, потеря напряжения в них не должна превышать допустимых значений. Кроме этого допустимый ток выбранного проводника должен соответствовать току аппарата, защищающего этот проводник по условиям нагрева токами перегрузки и КЗ [1]. Под допустимым током понимают максимальный ток, который кабель может проводить неограниченно долго, без снижения его номиналь-

ного срока службы. Токовая перегрузка возникает каждый раз, когда величина тока превышает максимально допустимый ток. Этот ток необходимо отключать за кратчайшее время, которое зависит от его амплитуды, чтобы не допустить неустраняемое повреждение кабеля (и оборудования, если токовая перегрузка вызвана неисправным элементом нагрузки).

Сети, имеющие числа часов использования максимума нагрузки более 5000 ч (кроме ответвлений к отдельным электроприемникам и осветительных сетей), могут рассчитываться по экономической плотности тока. Минимальные сечения жил проводников определяются требованиями механической прочности [2]. Таким образом, основными расчетами систем электроснабжения жилых домов, определяющими выбор сечений их проводников, являются расчет по допустимому нагреву и расчет по допустимой потере напряжения. При этих расчетах должны учитываться тип проводника и изоляции, способ прокладки кабелей и проводов, поправочные коэффициенты для различных условий окружающей среды.

Для нахождения нужного типа проводника зачастую приходится вычислять искомые величины итерационным путем, что доставляет значительные неудобства в скорости и качестве расчета.

Рассмотренные выше требования показывают сложность проведения вычислений по выбору проводников в целом. Инженерные расчеты без использования электронно-вычислительных машин могут приводить к погрешностям при определении допустимых токовых нагрузок, что, в свою очередь, приводит к не точному определению сечения проводников. В связи с этим ставится задача разработки программного обеспечения, позволяющего без значительных затрат труда производить выбор проводников и коммутационной аппаратуры.

Для решения поставленной задачи была разработана компьютерная программа, которая позволяет производить выбор проводников при их различной прокладке.

Данная программа предназначена для решения следующих задач:

- расчета длительно допустимого тока;
- определить сечение проводника;
- выбора типа проводника;
- определения диаметра проводника;
- проверки выбранного сечения на максимальную потерю напряжения;
- расчета потери напряжения;
- определения диаметра трубы, размеров кабель-канала;
- выбора защитных устройств.

Все задачи имеют математические методы решения, на основе которых разрабатываются алгоритмы. Решение этих алгоритмов производится на языке Delphi диалекта Object Pascal. Работу программы можно представить в виде логической схемы, представленной на рис. 1.

В разработанной программе предусмотрена база данных, созданная при помощи средств пакета MS Access и связанная с Delphi. Она включает в себя таблицы длительно допустимых токов, площади поперечного сечения проводников, таблицы защитных аппаратов и их характеристик, таблицы поправочных коэффициентов, корректирующий допустимый ток. Здесь предусматривается возможность добавления и удаления собственных данных, замена данных на более свежие, в связи с постоянным развитием энергетики.



Рис. 1. Логическая схема для выбора сечения кабеля и защитного устройства

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева токами нагрузки сравниваются расчетный и допустимый токи проводника (проводов, кабелей) принятой марки с учетом условий его прокладки.

Должно соблюдаться следующее соотношение [2]:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{р}}}{K_{\text{п}}},$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток длительного режима работы; $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток проводника, принимаемый из таблиц; $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, корректирующий допустимый ток на температурные условия окружающей среды, в которой прокладывается проводник.

Из баз данных по длительно допустимому току определяется площадь поперечного сечения проводника. Далее, находится потеря напряжения на линии, которая сравнивается с ранее заданным значением. В случае превышения заданного значения

выбирается следующее большее сечение проводника и заново проверяется по потере напряжения.

Напряжение на зажимах электроприемников в соответствии с требованиями существующего ГОСТ на качество электроэнергии должно быть в нормальном режиме работы не менее 95 % U_n и не более 105 % U_n . Потери напряжения в элементах системы электроснабжения не нормируются. Однако допускается учитывать, что не должны превышать: 1,5–1,8 % – в магистральном шинопроводе; 2–2,5 % – в распределительном шинопроводе с равномерной нагрузкой; 4–6 % – в сетях 0,38 кВ (от ТП до ввода в здание) [2].

Однофазные двух- и трехпроводные линии, трехфазные четырех- и пятипроводные линии – при питании однофазных нагрузок, а также трехфазные четырех- и пятипроводные линии – при питании трехфазных симметричных нагрузок (например, многоламповый светильник, в котором однофазные элементы соединены в звезду) должны иметь сечение нулевых рабочих (N) проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм² по меди и 25 мм² по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников [3].

Разработанная программа может быть применена для автоматизации расчетов по выбору проводников и коммутационных устройств в проектных организациях, на предприятиях, в рамках учебного процесса студентов вузов.

Программа позволяет автоматизировать процесс расчета при проектировании СЭС жилых домов. Автоматизация расчета, учитывающая различные условия прокладки проводников, позволит инженерам-проектировщикам:

- сэкономить рабочее время в два-три раза;
- избежать ошибок при проведении электротехнических расчетов;
- повысить качество проектирования.

Гибкость разработанного программного обеспечения позволяет в дальнейшем рассматривать вопрос о развитии функциональных возможностей программы.

Литература

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986.
2. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум / А. Г. Ус [и др.] ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 410 с.
3. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования : ТКП 45-4.04-149–2009 ; М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2014. – 67 с.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Ю. А. Лупан

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. И. Токочаков

В настоящее время энергосбережение является стратегической задачей государственного масштаба. На многих предприятиях имеют место значительные энергетические потери за счет недостаточного использования теплоты в технологических процессах. В том числе теплота газа, нагретого в процессе того или иного производ-

ства, либо используется не эффективно, либо не используется вообще, и нагретый газ выбрасывается в атмосферу. Это приводит к большим энергетическим потерям в объемах предприятия, страны, мира, а также определяет различные проблемы экологического характера. Особенно это характерно для высокотемпературных производств (до 1000 °С и более), т. е. именно там, где энергетические потери наиболее велики. Наиболее перспективным решением этой проблемы является применение различных теплоутилизаторов. Такие утилизаторы нашли свое применение в различных системах, например, в системах горячего водоснабжения.

Преимуществом утилизации является экономия энергии и сырья и, как следствие, экономия средств на эксплуатацию технологического оборудования и проведения технологического процесса.

Методы утилизации весьма разнообразны. Их выбор определяется физико-химическими свойствами рекуперлируемых компонентов, качественным и количественным составом сырьевых и технологических материалов, характером технологических операций и т. д.

Дымовые газы, покидающие рабочее пространство печей, имеют высокую температуру и поэтому уносят с собой значительное количество теплоты. Из рабочего пространства печей дымовые газы уносят тем больше теплоты, чем выше температура дымовых газов и чем ниже коэффициент использования теплоты в печи. В нагревательных печах с уходящими дымовыми газами теряется около 60–65 % располагаемой теплоты.

Утилизация теплоты уходящих дымовых газов позволяет достичь экономии топлива, причем экономия топлива зависит от степени утилизации теплоты уходящих газов.

Целесообразно стремиться к максимально возможной, экономически оправданной степени утилизации.

Одним из основных критериев выбора теплоутилизационного оборудования является его предполагаемая эффективность, а также характер влияния его режимных параметров на основной рабочий процесс. Решающее значение имеет при этом достаточно надежное определение изменения условий эксплуатации и повышение стойкости основного оборудования, улучшение энергоэкологических показателей производства в целом при установке дополнительного оборудования.

В настоящее время представлен широкий диапазон выбора теплообменников, рутутилизаторов и т. д. Существующие сегодня конструкции утилизаторов имеют весьма серьезные недостатки, которые часто определяют отсутствие этих устройств в технологических процессах.

Рассмотрим конкретный пример использования установки утилизации тепла дымовых газов. Определим возможную экономию тепловой энергии и топлива, а также рассчитаем срок окупаемости проекта при внедрении данной установки.

Постановка задачи:

При работе нагревательной печи на природном газе выбрасываются в атмосферу уходящие дымовые газы с температурой 900 °С. Время работы газовой печи принимаем 2000 ч. Потери теплоты с уходящими газами согласно режимной карте составляют 155 Мкал/ч. Предлагается установить двухконтурный утилизатор тепла дымовых газов для нагрева воды горячего водоснабжения. Первый теплообменный аппарат типа «воздух–вода», второй – типа «вода–вода».

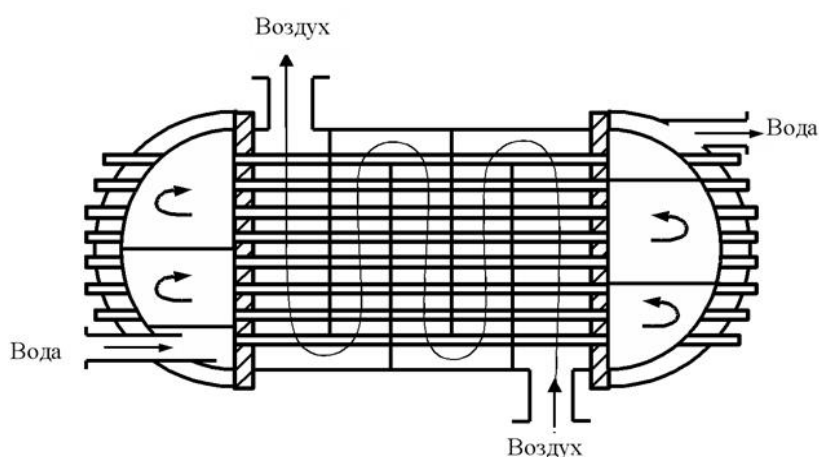


Рис. 1. Теплообменник типа «воздух-вода».

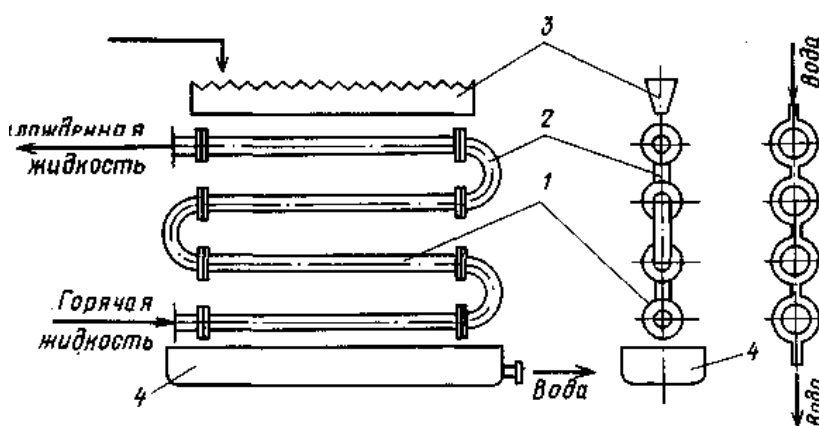


Рис. 2. Теплообменник типа «вода-вода».

Мощность утилизатора при снижении температуры уходящих газов до 300 °С:

$$155(900 - 300)/900 = 103 \text{ (Мкал/ч)}.$$

Мощность нагрева воды горячего водоснабжения при КПД утилизатора 50 %:

$$103 \cdot 0,5 = 51,5 \text{ (Мкал/ч)}.$$

Количество нагреваемой воды за смену с учетом охлаждения в системе и в баке-аккумуляторе:

$$8 \cdot 51,5 / (55 - 10) \cdot 0,9 = 8,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Годовая экономия тепловой энергии равна:

$$51,5 \cdot 2000 / 1000 = 103 \text{ (Гкал)}.$$

Капитальные вложения на оборудование, проектные, строительно-монтажные и пуско-наладочные работы (стоимость оборудования примем 25 тыс. р.):

$$25(1 + 0,025 + 0,25 + 0,03) = 32,6 \text{ (тыс. р.)}.$$

Определяем простой срок окупаемости мероприятия со стороны государства.
Годовая экономия топлива составляет:

$$103 \cdot 0,17 = 17,5 \text{ (т у. т.)}$$

Стоимость сэкономленного топлива равна (по состоянию на 04.03.2017: стоимость 1 т у. т. – 220 долл., 1 долл. – 1,914 р.):

$$17,5 \cdot 220 = 3850 \text{ (долл.) (7,369 тыс. р.)}$$

Срок окупаемости мероприятия за счет экономии тепловой энергии:

$$32,6/7,369 = 4,2 \text{ (года)}$$

Определяем простой срок окупаемости мероприятия со стороны инвестора.
Годовая экономия тепловой энергии равна:

$$103 \text{ (Гкал) (в соответствии с предыдущими расчетами)}$$

Стоимость годовой экономии тепловой энергии (в связи со стоимостью тарифа на тепловую энергию для промышленных предприятий):

$$103 \cdot 204,09/1000 = 21,02 \text{ (тыс. р.)}$$

Срок окупаемости мероприятия за счет экономии ТЭР:

$$32,6/21,02 = 1,5 \text{ (года)}$$

На основании полученных данных можно сделать вывод, что, в связи с относительно краткими сроками окупаемости, значительной экономии тепловой и топливной энергии, использование утилизации дымовых газов на примере применения двухконтурного утилизатора тепла дымовых газов с применением теплообменных аппаратов типа «воздух–вода», второй – типа «вода–вода» для нагрева воды горячего водоснабжения целесообразно и эффективно.

Литература

1. Бурокова, А. В. К вопросу рекуперации теплоты газов печей термообработки металлических изделий / А. В. Бурокова, Ю. А. Рахманов // Науч. журн. НИУ ИТМО. Сер. «Экономика и экологический менеджмент», 2014 г.

ПРИМЕНЕНИЕ АТНУ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Д. А. Тереня

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Н. А. Вальченко

Тепловой насос – устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой [1]. Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной це-

лью является производство холода путем отбора теплоты из какого-либо объема испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель – теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

В зависимости от принципа работы тепловые насосы подразделяются на компрессионные и абсорбционные. Компрессионные тепловые насосы всегда приводятся в действие с помощью механической энергии (электроэнергии), в то время как абсорбционные тепловые насосы могут также использовать тепло в качестве источника энергии (с помощью ВЭР или топлива).

В зависимости от источника отбора тепла тепловые насосы подразделяются на [2]:

1. Геотермальные – используют тепло земли, наземных либо подземных грунтовых вод;
2. Воздушные – источником отбора тепла является воздух.
3. Использующие производное (вторичное) тепло (например, тепло трубопровода центрального отопления). Подобный вариант является наиболее *целесообразным для промышленных объектов*, где есть источники паразитного тепла, которое требует утилизации.

В соответствии с договором № 37-15 от 04.05.2015 г. ОАО «Белгорхимпром» проведено энергетическое обследование ОАО «Гомельский химический завод» [3].

Энергетическое обследование ОАО «Гомельский химический завод» выполнено с целью определения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и выявления резервов их экономии.

В результате энергетического обследования разработаны мероприятия по эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов ОАО «Гомельский химический завод».

С целью экономии топливно-энергетических ресурсов ОАО «Гомельский химический завод» рекомендуется модернизация цеха серной кислоты с внедрением Системы Рекуперации Тепла Абсорбции. [3]

В настоящее время обеспечение электроэнергией ОАО «Гомельский химический завод» осуществляется паросиловым участком, где установлены две паровых турбины типа П-6 и Р-6.

Параметры свежего пара: давление $P = 3,5$ МПа; температура $t = 435$ °С.

Параметры пара после противодавленческой турбины Р-6, направляемого на производство: давление $P = 0,6$ МПа; температура $t = 250$ °С.

Модернизация цеха серной кислоты с внедрением Системы Рекуперации Тепла Абсорбции дополнительной установки производства серной кислоты, использующей технологию Рекуперации Тепла Абсорбции (HRS), разработанную фирмой «MECS,Inc.», позволит получить дополнительные ВЭР в виде пара давлением $P = 0,6$ МПа и температурой $t = 160$ °С [3].

В рамках данной работы была разработана схема применения АТНУ для системы обратного водоснабжения СКЦ-2 ОАО «Гомельский химический завод» для варианта реконструкции цеха с использованием технологии Рекуперации Тепла Абсорбции (HRS) и установкой конденсационной турбины П-12. Согласно проведенному энергоаудиту [3] при реконструкции СКЦ-2 с использованием технологии HRS появятся дополнительные ВЭР в виде пара давлением $P = 0,6$ МПа

и температурой $t = 160$ °С в количестве 40 т/ч. Такой вариант реконструкции предусматривает использование данного ВЭР в технологических целях, перевести турбину П-6 в конденсационный режим и избыток пара после турбины П-12 направлять в конденсатор. Ранее покрытие технологической нагрузки в виде пара осуществлялось производственным отбором от турбин. После реконструкции цеха производственный отбор не осуществляется, а идет в конденсаторы турбин. Горячий конденсат после турбины согласно плану реконструкции использовался для покрытия КБН предприятия в горячей воде, направлялся в КУ СКЦ-2 и использовался в технологических целях.

Предлагаемая схема предусматривает установку АТНУ параллельно существующей системе оборотного водоснабжения. При работе АТНУ будет осуществляться охлаждение оборотной воды, используемой для охлаждения сернистой печи и турбин СКЦ-2, а также подогрев сетевой воды в общезаводской сети за счет использования пара при производственном отборе турбин П-6 и П-12.

При данной схеме использования АТНУ решаются две основные задачи:

- рациональное использование дополнительного ВЭР в виде избыточного пара при производственном отборе после турбин вместо охлаждения в конденсаторе;
- сокращение потребления электроэнергии системой оборотного водоснабжения СКЦ-2 ОАО «Гомельский химический завод» за счет снижения нагрузки на градирни (приводы насосов и вентиляторов).

Данная схема может работать как в связке СОВС СКЦ-2, либо как резервная, предполагающая покрытие базовой нагрузки за счет работы АТНУ и покрытие пиковых нагрузок от градирен СОВС.

Подбор оборудования для предложенной схемы осуществлялся исходя из технических характеристик, заявленных производителями, и с учетом температурных графиков воды в СОВС и сетевой воды в общезаводской сети предприятия.

Для экономического обоснования мероприятия по внедрению в АТНУ в проект реконструкции СКЦ-2 произведен расчет снижения потребления электроэнергии СОВС цеха за счет использования тепловых насосов по укрупненным данным согласно [3].

Предполагаемый срок окупаемости мероприятия составляет четыре года при максимальном использовании АТНУ, т. е. установка должна работать нормальном режиме и без перебоев. Но, учитывая специфику работы СКЦ-2 ОАО «Гомельский химический завод», т. е. неравномерную работу цеха, пульсирующий выпуск серной кислоты и, соответственно, непостоянная выработка пара КУ, предполагается, что срок окупаемости должен увеличиться в 2,5–3 раза. Также дополнительное ограничение мероприятия в том, что данный вариант реконструкции цеха рассматривался в 2015 г. и был временно отложен до 2018 г. по некоторым техническим особенностям.

Балансовая схема установки по производству серной кислоты с внедрением Системы Рекуперации Тепла Абсорбции и АТНУ приведена на рис. 1.

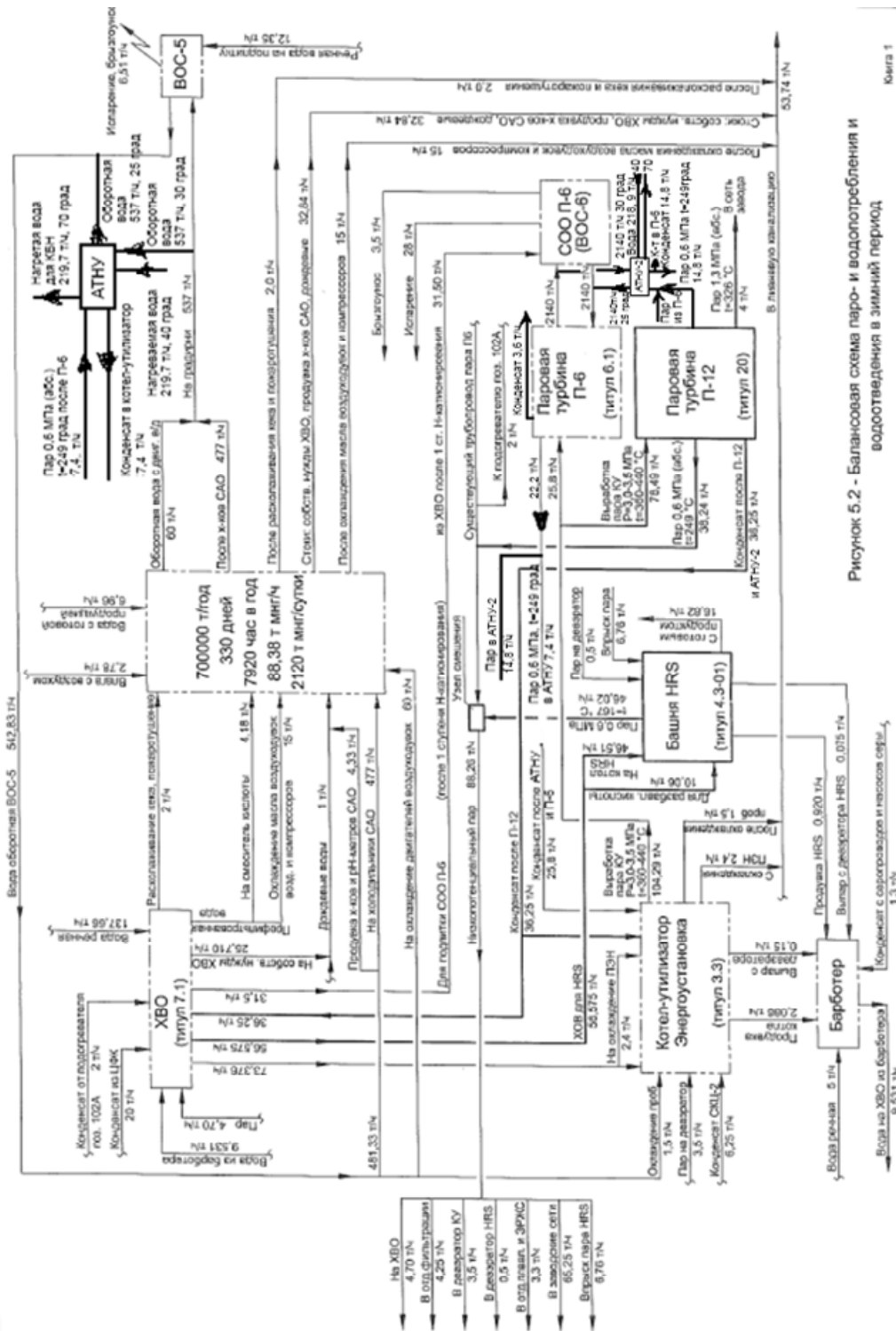


Рисунок 5.2 - Балансовая схема паро- и водопотребления и водоотведения в зимний период

Имя	Копия	Лист	№ доки	Дата
		45	16052-00-ОИ.ПЗ	

Рис. 1. Балансовая схема установки по производству серной кислоты с внедрением Системы Рекуперации Тепла Абсорбции (HRS) и АТНУ для СОВС

Литература

1. Тепловой насос // Большая совет. энциклопедия : в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Совет. энциклопедия, 1969–1978.
2. System Theory Models of Different Types of Heat Pumps // WSEAS Conference in Portoroz. – Slovenia, 2007 (англ.).
3. Энергоаудит ОАО «Белгорхимпром» для ОАО «Гомельский химический завод». – Гомель, 2015.

НЕОБХОДИМОСТЬ И ПУТИ КОРРЕКТИРОВКИ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

И. В. Алексеева

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. Г. Ус

Одним из важных этапов при проектировании систем электроснабжения потребителей является правильное определение расчетных электрических нагрузок, являющихся условными нагрузками, эквивалентными ожидаемым изменяющимся нагрузкам по наиболее тяжелому тепловому воздействию: максимальной температуре нагрева проводника или тепловому износу его изоляции.

Расчетная электрическая нагрузка из группы трех и более электроприемников всегда меньше суммы номинальных мощностей этих приемников. Это объясняется неполным использованием их по мощности и времени, одновременностью их работы в период эксплуатации.

От правильной оценки ожидаемых электрических нагрузок зависит степень капиталовложений при организации электроснабжения. Завышение ожидаемых нагрузок ведет к удорожанию строительства, перерасходу материалов, неоправданному увеличению питающих мощностей.

Занижение нагрузок либо проектирование электроснабжения без учета перспективного роста мощности производства может привести к дополнительным потерям мощности, перегрузке оборудования либо к необходимости кардинальной перестройки системы электроснабжения.

Для определения расчетных нагрузок при проектировании систем электроснабжения одним из основных применяемых в настоящее время является метод упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок. Особенно характерными в этом плане являются системы электроснабжения промышленных предприятий.

К наиболее важным проблемам функционирования электроэнергетического хозяйства промышленных потребителей относятся выход из строя элементов электроснабжения и низкая их загрузка. Причем затраты на элементы электроснабжения часто недостаточно обоснованы. Одной из причин этого является недостаточно точное определение электрических нагрузок на данные элементы при их выборе. Поэтому учет дополнительных факторов, оказывающих влияние на формирование электрической нагрузки, является весьма актуальной задачей.

Известно, что выбор проводников, а также распределительных устройств в цеховых электрических сетях осуществляется, как правило, по условию нагрева. При этом длительно допустимый ток ($I_{д. доп}$) не должен быть меньше расчетного тока группы электроприемников (I_p).

Поскольку процесс нагрева токоведущих частей определяется не только величиной нагрузки, но и продолжительностью нагрева их до установившейся температуры, последнюю целесообразно учитывать при выборе элементов систем электропитания. На практике данным периодом является величина, равная утроенному значению постоянной времени нагрева (T_0) токоведущих частей: $T_{\text{вкр}} = 3T_0$.

Поэтому в большинстве случаев в сетях до 1 кВ в качестве такого периода принят 30-минутный интервал, что соответствует постоянной времени нагрева проводников сечением 25–50 мм², наиболее часто используемых в практике проектирования.

При определении расчетной электрической нагрузки согласно методу упорядоченных диаграмм постоянная времени нагрева T_0 электрической сети учитывается в коэффициентах расчетной нагрузки K_p , определяемых дифференцированно на каждом уровне системы электроснабжения:

$T_0 = 10$ мин – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты;

$T_0 = 2,5$ ч – для магистральных шинопроводов, вводно-распределительных устройств и цеховых трансформаторов;

$T_0 \geq 30$ мин – для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные устройства.

Однако постоянная времени нагрева токоведущих элементов подчиняется более сложным законам: зависит от материала проводника, его сечения и способа прокладки и может изменяться от нескольких минут до нескольких часов.

Например, для проводов с алюминиевыми жилами и резиновой или ПВХ-изоляцией постоянная времени нагрева изменяется в зависимости от сечения и способа прокладки проводника, как показано в таблице.

Характеристики проводов с резиновой или ПВХ-изоляцией

Сечение, мм ²	10	16	25	35	50	70	95	120
Постоянная времени нагрева, мин. Длительно допустимый ток, А при:								
– открытой прокладке	$\frac{4,2}{60}$	$\frac{5,5}{75}$	$\frac{7,2}{105}$	$\frac{9}{130}$	$\frac{12}{165}$	$\frac{15}{210}$	$\frac{18,4}{255}$	$\frac{21,4}{295}$
– прокладке в трубе при количестве проводов, равном 4	$\frac{9}{39}$	$\frac{12}{55}$	$\frac{17}{70}$	$\frac{19}{85}$	$\frac{23}{120}$	$\frac{27}{140}$	$\frac{32}{175}$	$\frac{26}{200}$

В рамках темы предлагается способ, основанный на следующем итерационном алгоритме:

1. По расчетному току I_p исходя из условия нагрева, по справочнику выбирается проводник сечением $F_{(0)}$, для которого определяется постоянная времени нагрева.

2. Пересчитывается коэффициент расчетной нагрузки K_p с учетом полученной постоянной времени нагрева относительно начальной постоянной времени нагрева ($T_{0(0)} = 10$ мин) по известной формуле

$$K_{P(i)} = 1 + \frac{K_{P(i-1)} - 1}{\sqrt{\frac{3T_{0(i)}}{3T_{0(i-1)}}}}$$

3. Уточняется исходный расчетный ток по формуле

$$I_{P(i)} = I_{P(i-1)} \frac{K_{P(i)}}{K_{P(i-1)}}$$

4. По уточненному значению расчетного тока $I_{P(i)}$, исходя из условия нагрева, выбирается проводник сечением $F_{(i)}$. Если выбранные сечения на текущей и предыдущей итерации не совпадают (например, при первой итерации $F_{(0)} \neq F_{(i)}$), то расчет повторяют по пп. 2–4 до тех пор, пока итерационный процесс не сойдется ($F_{(i-1)} = F_{(i)}$).

Алгоритм предполагает, что после нескольких итераций расчетная нагрузка группы электроприемников будет соответствовать длительно допустимому току проводника с его реальной постоянной времени нагрева T_0 .

Необходимо отметить, что при некоторых исходных значениях расчетного тока (I_P) и коэффициента расчетной нагрузки (K_P) итерационный процесс не сходится. Например, необходимо выбрать провод с резиновой изоляцией при открытой прокладке в цеховой электрической сети, используя следующие результаты определения расчетной нагрузки при $T_0 = 10$ мин: $I_P = 250$ А; $K_P = 3$.

По условию нагрева по справочнику принимаем провод сечением $F = 95$ мм²; $I_{д. доп} = 255$ А; $T_0 = 18,4$ мин.

Пересчитываем коэффициент K_P с учетом постоянной времени нагрева выбранного провода:

$$K_{P(i)} = 1 + \frac{K_P - 1}{\sqrt{\frac{3T_{0(i)}}{3 \times 10}}} = 1 + \frac{3 - 1}{\sqrt{\frac{3 \times 18,4}{3 \times 10}}} = 2,47.$$

Уточняем исходный расчетный ток I_P :

$$I_{P(i)} = I_P \frac{K_{P(i)}}{K_P} = 255 \frac{2,47}{3} = 205,8 \text{ А.}$$

Используя уточненное значение расчетного тока $I_P(1)$, выбираем проводник сечением $F_{(1)} = 70$ мм²; $I_{д. доп} = 210$ А; $T_0 = 15$ мин.

Поскольку $F_{(1)} \neq F_{(0)}$, расчет продолжаем:

$$K_{P(2)} = 1 + \frac{2,47 - 1}{\sqrt{\frac{3 \times 15}{3 \times 18,4}}} = 2,63.$$

$$I_{P(2)} = 205,8 \frac{2,63}{2,47} = 219,1 \text{ А.}$$

Далее, на основе уточненного расчетного тока выбираем проводник $F_{(2)} = 95 \text{ мм}^2$.

По дальнейшим расчетам можно убедиться, что выбираемое сечение с каждым шагом будет колебаться между значениями 70 и 95 мм^2 и итерационный процесс сходиться не будет.

Из полученных результатов можно сказать, что в области малых сечений, как правило, требуется увеличение сечения проводника. Поэтому уточнение расчетной нагрузки и увеличение сечения позволяют повысить надежность электроснабжения. В области больших сечений и больших значений коэффициента расчетной нагрузки, наоборот, возможно уменьшение сечения проводника и, следовательно, затрат на электроснабжение.

Таким образом, при больших значениях K_p выбор сечений по условию нагрева крайне целесообразно осуществлять с учетом реальной постоянной времени нагрева токоведущих элементов.

ВЛИЯНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ НА РАБОТУ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Е. С. Зязюля

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. И. Зализный

Количество фотоэлектрических станций (ФЭС) в нашей стране возрастает с каждым годом. Эффективность работы этих устройств существенно зависит от места и способов их установки, что необходимо учитывать уже на стадии проектирования. Соответственно, разработка методов, позволяющих учесть максимальное количество влияющих факторов, является актуальной задачей.

Цель исследования: выявить основные факторы воздействия окружающей среды на работу ФЭС.

Повлиять на работу ФЭС может множество факторов окружающей среды (рис. 1).

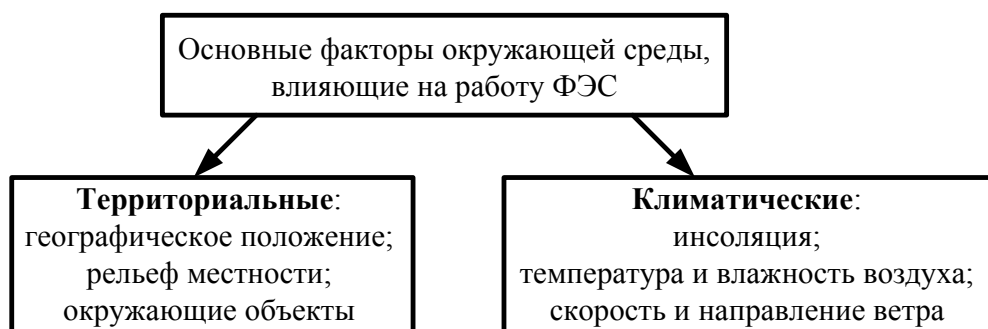


Рис. 1. Схема факторов окружающей среды, влияющих на работу ФЭС

Некоторые факторы критически сказываются на работоспособности, режиме работы, коэффициенте полезного действия (КПД) и т. д., а некоторые воздействуют лишь косвенно. Поэтому данные факторы можно разделить на основные и второстепенные.

К основным можно отнести факторы, которые определяются климатом и местностью, где расположена ФЭС. Климатические факторы тесно связаны с территори-

альными. Для каждой территории свойственны определенные климатические показатели: уровень солнечной инсоляции, влажность и давление воздуха, температура воздуха и скорость ветра, характерные для данной местности.

На работоспособность ФЭС также будет оказывать влияние и географическое положение на земном шаре (географическая широта), рельеф (наличие крупных массивных объектов, создающих тень), расположение солнца на небосводе и угол падения солнечных лучей. Данные показатели оказывают влияние в большей или меньшей степени на выходные характеристики солнечных батарей (СБ), из которых и состоит ФЭС.

Инсоляция – это солнечная радиация. Она непосредственно влияет на работоспособность СБ. Преобразование энергии в СБ основано на фотоэффекте в полупроводниках, состоящих из p - n переходов, при воздействии на них солнечного излучения. P - n переход выполняет функцию энергетического барьера для носителей заряда, пропуская их только в одном направлении. Излучение, падающее на поверхность СБ, приводит к появлению в полупроводниковом слое носителей заряда с противоположными знаками – электронов (n) и дырок (p). Хаотически двигающиеся в полупроводнике носители заряда оказываются по разные стороны барьера, после чего передаются во внешнюю цепь для создания напряжения на нагрузке и электрического тока в замкнутой цепи, подключенной к СБ.

Выходные характеристики СБ зависят от количества падающего на ее поверхность солнечного света. Например, внезапно появившееся облако снижает выходную мощность СБ более чем на 50 %.

На параметры СБ влияет влажность воздуха, зависящая, в свою очередь, от температуры воздуха и атмосферного давления. Влажность воздуха влияет на теплообмен между СБ и окружающей средой. При большей влажности в воздухе процесс охлаждения СБ будет протекать быстрее.

Под воздействием солнечного излучения поверхность СБ разогревается. Без охлаждения в ней выделяется большое количество энергии в виде тепла. В результате рабочая температура СБ возрастает, что негативно сказывается на ее работоспособности – изменении выходных характеристик. Напряжение холостого хода и КПД снижаются приблизительно на 30–40 %, а разница температуры СБ и окружающей среды составляет от 10 до 30 °С.

Известно, что чем больше содержится влаги в воздухе, тем сильнее происходит поглощение солнечной радиации. Для характеристики этого явления используется понятие осажженного слоя воды. Величина осажженного слоя воды, приходящаяся на 1 км, связана с абсолютной влажностью и давлением воздуха. В результате повышенная влажность воздуха приводит всегда к ухудшению характеристик СБ.

Оказать влияние на нагрев СБ может скорость ветра. Естественная конвекция положительно сказывается на выходных характеристиках СБ, предотвращая перегрев.

Уровень солнечной радиации также зависит от географической широты, т. е. на выходные параметры СБ влияет не только суммарная солнечная радиация, но и положение солнца на небосводе. Если положение Солнца ближе к зениту, то СБ выдает более высокие значения тока и мощности. Однако последствием этого будет более сильный разогрев рабочей поверхности СБ.

Количество энергии, выработанной СБ, также зависит от продолжительности светового дня. Известно, что чем ближе к экватору, тем больше продолжительность светового дня, не считая северных и южных полюсов. На полюсах по полгода длится день или ночь, Солнце при этом находится под очень острым углом на протяжении всего времени суток.

Расположение рядом с ФЭС больших объектов, например, зданий, сооружений, горных массивов, возвышенностей, деревьев и т. д., оказывает большое влияние на энергоэффективность ФЭС. Данные объекты способны отбрасывать тени на поверхность Земли, и чем дальше Солнце находится от зенита, тем большие тени они создают. В южных и северных полушариях это более выражено, чем на экваторе. В результате некоторые солнечные батареи ФЭС могут оказаться затенены. Так как вырабатываемая электроэнергия непосредственно зависит от попадания солнечных лучей на поверхность СБ, то этот фактор будет также проблемой при выборе места установки ФЭС.

Для определения комплексного влияния некоторых из перечисленных факторов на работу ФЭС автором данного доклада начата разработка математической модели солнечной панели в среде Matlab/Simulink. Модель должна учитывать влияние температуры окружающей среды и различных уровней освещенности. При моделировании будут приняты следующие допущения: отсутствие частичного затенения поверхности СБ; отсутствие повреждений СБ. Данные допущения дают возможность применять классические аналитические выражения для моделирования характеристик СБ. Разработанная модель будет описывать реальный солнечный модуль лишь с некоторой степенью приближения, с учетом принятых допущений.

С помощью разрабатываемой математической модели можно будет усовершенствовать методику для определения наиболее оптимальных мест установки ФЭС с учетом факторов, которые могут возникнуть на территории нашей страны.

Несмотря на северную широту географического расположения Беларуси, ресурсы солнечной энергии в стране являются стабильными и приемлемыми благодаря благоприятным климатическим условиям. Потенциал солнечной энергии в Беларуси позволяет улавливать и преобразовывать энергию Солнца в большей мере на бытовом уровне, в промышленных масштабах – возможно в некоторых областях республики – Гомельская, Брестская и часть Могилевской области.

Угол падения солнечных лучей на севере Беларуси более острый, чем на юге, на протяжении всего года. Продолжительность дня летом больше на севере республики, а зимой на юге. Количество солнечной радиации летом почти одинаково на всей территории республики. Зимой южные районы получают больше солнечной радиации, чем северные.

Годовая суммарная солнечная радиация в северных районах составляет 3500–3600 МДж/м². Южные районы получают более 4100 МДж/м². Больше всего солнечной радиации поступает в июне. Ее количество примерно в 15 раз больше, чем в декабре. Летом преобладает прямая солнечная радиация. На ее долю приходится 50–55 % от суммарной. Зимой и осенью из-за высокой облачности увеличивается доля рассеянной радиации (70–80 %).

По данным Белгидромета, количество солнечных часов в году в республике достигает 1730–1950 ч, а годовой уровень солнечной энергии составляет 1020–1100 ватт/м². Количество ясных дней в нашей стране составляет в среднем 20–35 за год. Пасмурных дней (по общей облачности) – от 175 на северо-западе до 135 дней на юго-востоке. В осенне-зимний период без Солнца бывает до 20 дней в месяц, а в остальные дни продолжительность сияния составляет в среднем по 3 ч. В мае-июле только 1–3 дня в месяц бывают без Солнца, в отдельные дни продолжительность сияния достигает 16 ч.

Рельеф Республики Беларуси преимущественно равнинно-холмистый, средняя высота над уровнем моря составляет 160 м. Равнинный характер поверхности создает благоприятные условия для развития солнечной энергетики.

Значительная часть территории страны покрыта лесами и сельскохозяйственными угодьями, а площадь страны не такая уж и большая, поэтому в нашей стране необходимо подходить к выбору места установки ФЭС достаточно серьезно. В первую очередь, должны использоваться территории, выведенные из экономической деятельности. Допустим, территории, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС (загрязнение радиацией); бывших мест захоронения бытовых и промышленных отходов; площадей промышленных предприятий; земель, исчерпавших свой главный ресурс как сельскохозяйственные угодья; крыши зданий и сооружений больших и средних площадей.

Выводы по данной работе:

1) выбор места установки ФЭС зависит от ряда климатических и территориальных факторов: солнечной радиации, температуры, давления и влажности воздуха, скорости ветра в рассматриваемом регионе; географической широты и угла падения солнечных лучей, рельефа местности, наличия массивных объектов, отбрасывающих тени на поверхность земли;

2) климат, широта и рельеф Республики Беларусь позволяет развивать солнечную энергетику и вырабатывать электроэнергию в бытовых и промышленных масштабах;

3) усовершенствование методики будет заключаться в определении наиболее оптимальных мест установки фотоэлектрических станций, с учетом климатических особенностей, ограниченности территории, расположения в северных широтах земного шара.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

А. П. Сологубов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. И. Злотников

Несмотря на то что процесс горения известен уже тысячи лет, механизм этого явления полностью еще не изучен. Конечно, основные процессы, протекающие при горении, известны достаточно хорошо. Но задача рационального, управляемого и экологически чистого процесса горения остается важной как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах.

Пламя представляет собой раскаленную светящуюся газообразную среду, содержащую плазму и некоторое количество мелкодисперсных твердых частиц. В этой среде происходят различные физико-химические процессы, приводящие к тепловыделению, разогреву и свечению. Основным источником тепла – химические реакции окисления продуктов горения. Заряженными частицами пламени являются положительные ионы (как отдельные ионизированные атомы, так и многоатомные радикалы), образующиеся преимущественно вследствие химической ионизации, и отрицательные электроны. Стационарное пламя обладает в целом нейтральным зарядом, но заряженные частицы распределены в нем неравномерно. Наружный конус (зона реакций окисления) имеет преимущественно положительный заряд, а внутренний – отрицательный. Это вызвано разной подвижностью ионов и электронов: ионы из-за малой подвижности создают положительный заряд в месте своего возникновения, а подвижные электроны покидают фронт пламени и образуют отрицательный заряд во внутреннем конусе. Концентрация заряженных частиц в пламени составляет около 10^{12} ионов на 1 см^3 [1], [2]. Наличие в пламени заряженных частиц в высоких концентрациях приводит к выводу о возможности воздействия на процесс горения путем наложения на пламя электрических полей.

При включении электрического поля в пламени возникает встречный ток положительных ионов и отрицательных электронов. По закону Ома, плотность тока j равна $j = \sigma E$, где σ – проводимость пламени, E – напряженность электрического поля. Проводимость пламени определяется, в первую очередь, подвижностью заряженных частиц: $\sigma = n(u_+ + u_-)e$, где n – концентрация положительных или отрицательных ионов (для однократно ионизованных атомов эти величины одинаковы); u_+ и u_- – подвижности положительного иона и электрона; e – заряд электрона. Подвижность заряженной частицы обратно пропорциональна ее массе. Так как масса электрона во много раз меньше массы ионов, то $u_+ \ll u_-$, следовательно, электропроводность пламени обусловлена в основном движением электронов под действием электрического поля.

Обычно рассматриваются три вида воздействия электрического поля на пламя [2]:

1. *Переход энергии электрического поля в тепловую.* Так как пламя представляет собой проводник, то при прохождении через него электрического тока в нем будет выделяться теплота. По закону Джоуля–Ленца, $w = \sigma E^2$, где w – количество теплоты, выделяющейся в единице объема пламени за 1 с.

2. *Прямое воздействие электрического поля на процесс горения.* При воздействии электрического поля увеличивается кинетическая энергия движения электронов и ионов, которая при их столкновениях с молекулами переходит в тепло, в результате чего возрастает температура пламени и скорость горения.

3. *Ионный ветер* – перемещение положительных ионов к отрицательному электроду, которые увлекают нейтральные частицы, что изменяет режим и скорость горения.

Целью данной работы является экспериментальное изучение влияния электрического поля на картину горения бензина.

В качестве источника напряжения использовали аппарат для аэроионизации воздуха АФ-3, который позволяет получать максимальное выходное напряжение до 50 кВ. Воздействие электрического поля на интенсивность горения определяли на специальном стенде, схема которого показана на рис. 1. Для исключения влияния движения воздуха в помещении на процесс горения стенд был помещен в защитный контейнер, изготовленный из оргстекла.

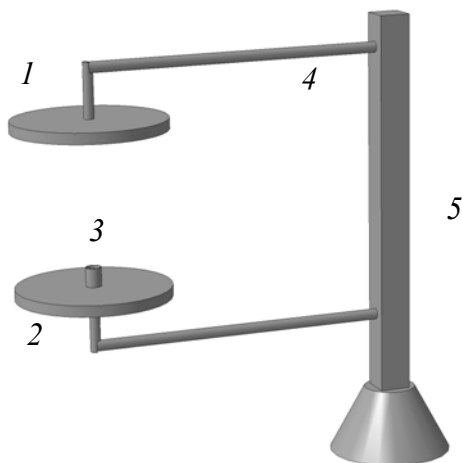


Рис. 1. Схема установки:
1 – верхний электрод; 2 – нижний электрод; 3 – бокс с бензином;
4 – диэлектрический кронштейн;
5 – металлическая стойка



Рис. 2. Горение бензина без электрического поля

На рис. 2 приведена фотография стационарного горения бензина без наложения электрического поля. Хорошо виден ламинарный характер движения газа в факеле, причем заметно, что сгорание бензина неполное и образуется копоть – частицы сажи.

После включения электрического поля, направленного вертикально вверх, высота пламени уменьшается, копоть исчезает, что свидетельствует о полноте сгорания бензина (рис. 3, *a*). Это можно объяснить тем, что электроны устремляются вниз, их количество во фронте пламени уменьшается, и процесс рекомбинации ионов и электронов замедляется, вследствие чего процесс ионизации протекает более интенсивно. Кроме того, электроны, ускоряясь в электрическом поле, увлекают за собой и нейтральные молекулы, в результате чего высота пламени уменьшается, а время нахождения продуктов горения в высокотемпературной зоне пламени увеличивается, что увеличивает полноту сгорания. Положительные ионы, как отмечалось выше, имеют значительно меньшую подвижность, скорость их движения вверх под действием электрического поля не превышает скорости конвекционного движения газа пламени и мало влияет на размеры пламени.

Если направление электрического поля поменять на обратное (отрицательный полюс на нижнем электроде), то режим горения принципиально меняется (рис. 3, *б*). В этом случае положительные ионы интенсивно притягиваются к нижнему отрицательному электроду, и пламя выходит на внешнюю сторону бюкса. Поскольку конвекционный поток газов в пламени устремлен вверх (туда же направлен и поток электронов), то возникают два встречных газовых потока, что приводит к переходу от ламинарного факела к турбулентному. Ширина и высота пламени резко увеличиваются, а возникающая турбулентность приводит к неполному сгоранию бензина и образованию копоти.

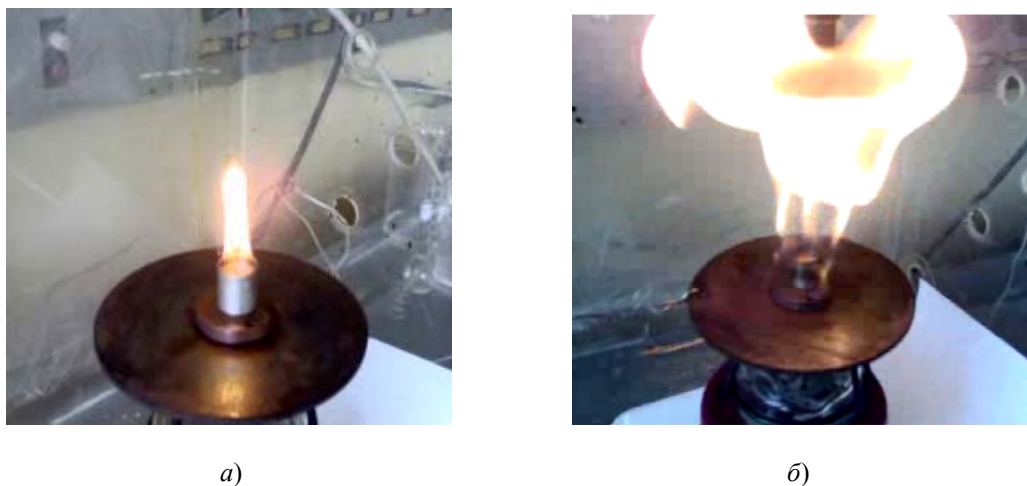
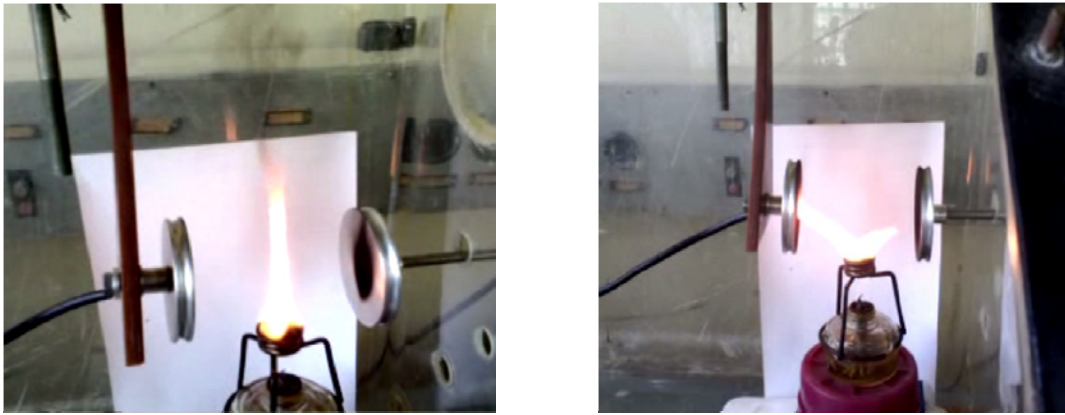


Рис. 3. Горение бензина в электрическом поле напряженностью 150 кВ/м:
a – отрицательный полюс на верхнем электроде; *б* – отрицательный полюс на нижнем электроде

В горизонтальном электрическом поле (рис. 4) пламя разделяется на два несимметричных факела, больший из которых отклоняется к катоду. Следовательно, положительные ионы сильнее увлекают газы пламени (ионный ветер), чем электроны, причем при невысоких значениях напряженности электрического поля эффект разделения пламени незаметен. Хорошо видно, что копоть почти исчезает, что свидетельствует о полноте сгорания.



а)

б)

Рис. 4. Горение бензина в горизонтальном электрическом поле, отрицательный полюс слева: а – напряженность поля 20 кВ/м; б – напряженность поля 150 кВ/м

Таким образом, проведенные опыты показывают, что электрическое поле оказывает значительное влияние на процесс горения. Развитие исследований в этом направлении позволит успешно применять электрические поля для повышения эффективности и экологической чистоты процессов горения.

Л и т е р а т у р а

1. Шленский, О. Ф. Режимы горения материалов / О. Ф. Шленский, В. С. Сиренко, В. А. Егорова. – М. : Машиностроение, 2011. – 220 с.
2. Кидин, Н. И. Влияние внешних электромагнитных полей на процессы горения / Н. И. Кидин. – Режим доступа: <http://www.ism.ac.ru/sgv/rtf/121.rtf>.

УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОМ РЕЖИМОМ СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА

В. Н. Шиленкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. И. Кравченко

Общеизвестно, что срок службы светодиода зависит от используемого полупроводникового материала, а также отношения тока светодиода к количеству выделяемого тепла. Световая отдача постепенно снижается, и после того как она достигнет 50 % от начального значения, ожидаемый срок службы светодиода по определению истекает. Достижимый срок службы светодиодов может составлять от нескольких десятков тысяч до 100000 ч, но только в отсутствие воздействия высоких температур, которые радикально его сокращают.

Мощность излучения светодиода сильно зависит от температуры *p-n*-перехода кристалла. Это значит, что эффективность светодиода (КПД), которая определяется как отношение мощности светового потока к общему количеству подаваемой на светодиод электрической мощности, существенно уменьшается с ростом температуры. Хотя светодиод и называют «холодным излучателем», в свет преобразуется не вся его электрическая энергия. Как и в других полупроводниковых устройствах, большая ее часть (70–80 %) превращается в тепло. Именно поэтому, в отличие от тепло-

вых излучателей (например, ламп накаливания), светодиоды нуждаются в обязательном регулировании температурных режимов (охлаждении). При всех великолепных характеристиках высокоэффективных белых светодиодов их длительная и бесперебойная работа, а значит, воплощение в жизнь новых технологий освещения, возможны только при соблюдении граничных условий, накладываемых на температурные режимы. От высокоэффективных светодиодов, применяемых для освещения, требуется максимально возможный световой поток.

Исходя из технических принципов работы полупроводниковых компонентов, новых конструктивных решений, размещения нескольких кристаллов в одном корпусе и других факторов возникает необходимость в оптимальном регулировании температурных режимов [1]. Необходимость корректного расчета теплового режима светодиодов (особенно мощных) и выбор подходящей системы охлаждения – залог успеха при проектировании надежной и долговечной осветительной системы на светодиодах [2].

Теплоинженерные расчеты для оптимального охлаждения чрезвычайно сложны, поскольку необходимо учесть конструкцию светодиода и общее тепловое сопротивление как сумму тепловых сопротивлений отдельных материалов и переходов.

Есть еще несколько способов охлаждения светодиода: через корпус, через печатную плату (токонесущие дорожки, плакированная печатная плата) и с помощью радиаторов, приклеиваемых или припаяваемых на плату или монтируемых отдельно, и т. д.

При охлаждении светодиода через корпус отводимое тепло проходит два участка: между *p-n*-переходом и выводами светодиода, а далее между выводами и окружающей средой. В этом случае отвод тепла минимален, и поэтому данный метод ненадежен, в особенности при охлаждении высокоэффективных светодиодов.

Другой метод охлаждения предполагает монтаж радиатора на той же печатной плате, на которой установлены светодиоды (если это предусмотрено). Сложность конструкторской задачи, стоящей перед разработчиком в этом случае, может различаться. При малом тепловыделении в очень ограниченном числе случаев достаточно печатной платы из материала FR-4 с дополнительным слоем теплопроводящей пасты. При более интенсивном тепловыделении используются печатные платы особой конструкции, поскольку FR-4 является не очень хорошим проводником. Широко применяются для охлаждения светодиодов плакированные печатные платы. Алюминиевое основание позволяет отводить тепло от светодиодов в окружающую среду через тепловые каналы или вкладыши (с покрытием сплошным слоем меди) – напрямую или через смонтированный на плате дополнительный радиатор [4]. Помимо жестких печатных плат, данный метод равно применим и к гибким печатным платам, изготовленным из PET, PEN, PI, поскольку к ним также можно приклеить алюминиевую теплораспределительную пластину и радиатор.

В случае высокоэффективных светодиодов использование радиатора является обязательным. Существуют различные базовые подходы к конструированию радиаторов для свободной конвекции. Пользуясь предоставленными производителем графиками, по расчетному значению теплового сопротивления пользователь может определить параметры радиатора для конкретного применения. Иногда для увеличения площади теплорассеивающей поверхности на дно радиатора наносится слой меди – в этом случае светодиод можно будет непосредственно припаять к радиатору.

Эффективность охлаждения можно повысить, реализовав принудительную вентиляцию. Вентилятор на радиаторе, в зависимости от способа применения, может улучшить теплоотвод примерно на 40 %. Для этой цели используются специально разработанные радиаторы.

Исследование системы охлаждения светодиода с использованием радиатора с «паровой камерой» для обеспечения заданного температурного режима светодиодов имеет существенный потенциал.

Одним из методов охлаждения светодиодов с большим тепловыделением, который найдет свое применение в будущем, является термоэлектрический – с использованием элементов Пельтье.

Достоинством элемента Пельтье являются небольшие размеры, отсутствие каких-либо движущихся частей, а также газов и жидкостей. При обращении направления тока возможно как охлаждение, так и нагревание – это дает возможность термостатирования при температуре окружающей среды как выше, так и ниже температуры термостатирования.

Недостатком элемента Пельтье является очень низкий коэффициент полезного действия, что ведет к большой потребляемой мощности для достижения заметной разности температур. Несмотря на это, элементы Пельтье нашли широкое применение, так как без каких-либо дополнительных устройств можно реализовать температуры ниже 0 °С.

В приборах, при низкой мощности охлаждения, элементы Пельтье часто используются как вторая или третья ступень охлаждения. Это позволяет достичь температур на 30–40 К ниже, чем с помощью обычных компрессионных охладителей (до –80 для одностадийных холодильников и до –120 для двухстадийных) [5].

В нашей работе использовался широко распространенный 127-парный элемент Пельтье ТЭС1-16112, величина номинального напряжения при токе 12 А составляет примерно $U = 16$ В с мощностью охлаждения в 137 Вт. Такой выбор напряжения питания является оптимальным, так как позволяет обеспечить, с одной стороны, достаточную мощность охлаждения, а с другой стороны, достаточную экономичность (холодильный коэффициент). При повышении напряжения питания более 16 В увеличение холодильной мощности будет незначительным, а потребляемая мощность будет резко увеличиваться. При понижении напряжения питания экономичность будет расти, холодильная мощность будет уменьшаться, но линейно, что очень удобно для организации плавного регулирования температуры.

Исследования возможности использования элемента Пельтье для охлаждения и термостатирования проводились на мощных светодиодах (0,5–50 Вт). Элементы Пельтье включались как последовательно в цепь питания светодиода, так и от отдельных источников тока. Как оказалось, при питании диодов напряжением постоянного тока поддерживать постоянный температурный режим можно только у светодиодов с мощностью потребления более 20 Вт [6].

В каждом конкретном случае требуется использовать определенное число элементов, установленных не только в непосредственном контакте со светодиодом, но и на радиаторе общего охлаждения. Поэтому этот метод не находит широкого применения по причине его дороговизны в настоящее время.

Следует ожидать, что в будущем светодиод утвердится на рынке как универсальный источник света для всех типов освещения. Во многих случаях условия эксплуатации светодиодов обуславливают обязательное регулирование температурных режимов (охлаждение), что определяет высокую эффективность и длительный срок службы.

Литература

1. Светодиодный источник света : пат. на полезную модель № 2392539 / В. С. Абрамов, С. П. Черных ; заявка 2008129653/28, 27.01.2010 ; опубл. : 20.06.2010 / Бюл. № 17.

2. Коган, Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды / Л. М. Коган. – М. : Электрон. техника, 1989. – 415 с.
3. Иванов, В. И. Справочник. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы / В. И. Иванов, А. И. Аксенов, А. М. Юшин. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 480 с.
4. Коган, Л. М. Техничко-экономические вопросы применения светодиодов в качестве индикации и подсветки в системе отображения информации / Л. М. Коган, С. А. Дохман. – Светотехника. – 1990. – № 3. – 289 с.
5. Шостаковский, П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 131–138.
6. Лотар, Н. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов / Н. Лотар // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 3. – С. 13–15.
7. Тепловые условия эксплуатации мощных светодиодов / Г. И. Котов [и др.] // Вестн. ВГТУ. – 2012. – Т. 8, № 8. – С. 96–99.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУХОДУВНОЙ СТАНЦИИ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОАО «СВЕТЛОГОРСКИМВОЛОКНО»

Р. И. Насивалиев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. В. Шаповалов

На большинстве промышленных предприятий сокращение энергетических затрат играет существенную роль. Поскольку доля компрессорных и нагнетательных станций в балансе энергопотребления составляет 25–30 %, а снижение КПД эксплуатируемых центробежных машин за счет износа увеличивает себестоимость сжатого воздуха, следовательно, снижение затрат при его производстве дает ощутимый экономический эффект.

Целью работы является разработка энергетической оценки и технико-экономическое обоснование внедрения новых воздуходувных агрегатов.

Стандартный процесс очистки сточных вод требует затрат электроэнергии, среди которых основная часть приходится на аэрацию иловой смеси.

Обозначим энергозатраты на процессы аэрации комплекса очистки как 100 %, тогда внедрение современных процессов, способов и оборудования позволит сократить энергозатраты на биологическую очистку в соответствии с графиком.

Энергозатраты на процессы очистки и аэрации требуют оптимизации различными путями. Слагаемым энергосбережения комплексного предложения является внедрение управляемых одноступенчатых турбокомпрессоров с двойным регулированием и контролем процесса очистки.

Переоснащение действующей воздуходувной станции посредством использования управляемых одноступенчатых турбокомпрессоров с двойным регулированием и контролем процесса очистки дадут ощутимый эффект более оперативно.

Выбранное оборудование должно удовлетворять основным условиям:

- иметь высокий базовый КПД;
- диапазон управления подачей воздуха должен быть достаточно широк;
- КПД в диапазоне подач воздуха должен сохранять высокие величины.

Суть энергосбережения заключается в разнице потребляемой электроэнергии для управляемого и неуправляемого режимов подач воздуха в аэротенки.

Количество сэкономленной электроэнергии – есть разница между двумя «кривыми» – синей и красной.

График, является реальным и типичным для суточной неравномерности колебаний технологической нагрузки.

Главный вопрос – насколько повысится эффективность работы воздухоподводящей станции? Ведь режим работы изменяется посуточно и посезонно. Величины плотности воздуха зависят от его температуры и давления. Суточные и сезонные колебания температуры воздуха воздействуют на объемы воздуха, требуемые для биологической очистки на станциях аэрации. С другой стороны, величины плотности воздуха увеличиваются с повышением давления воздуха, следовательно, следует также учитывать барометрическое давление или высоту над уровнем моря.

Закон идеального газа соотносит изменения плотности воздуха с изменениями температуры и давления:

$$pV = nRT, \quad (1)$$

где p – давление воздуха (Па); V – объем воздуха (м^3); n – количество молей газа (мол); R – универсальная газовая постоянная ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$); T – температура (К).

Таким образом, масса воздуха, перекачиваемая компрессором в любую единицу времени, зависит от объема, температуры и давления.

Плотность воздуха, ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$) – это масса воздуха, m (кг), на единицу объема, V (м^3), или массовый расход \dot{m} ($\text{кг}/\text{ч}$), поделенный на объемный расход, V ($\text{м}^3/\text{ч}$).

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\dot{m}}{\dot{V}}. \quad (2)$$

Величина энергосбережения может быть представлена расчетом, который базируется на суточных изменениях технологических нагрузок по сезонам года, с описанием расчетных зависимостей системой уравнений:

$$\bar{V} = \left(\frac{m}{\rho_n} \right) \times \frac{1,013T_{in}}{(P_{bar} - (0,001R_h)P_{sat})273,15}; \quad (3)$$

$$h_i = c_p T_{in} \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-i}{k}} - 1 \right); \quad (4)$$

$$P = \frac{h_{is} \bar{m}}{\eta 3600}, \quad (5)$$

где V – объемный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$; h_{is} – удельный политропный напор, $\text{Дж}/\text{кг}$; P – мощность воздухоподводки без внешних потерь, Вт; \dot{m} – массовый расход воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$; ρ_n – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, при 1 атм. 0°C , 0 % относительной влажности; P_{sat} – давление насыщенного пара, бар; R_h – относительная влажность, %, T_{in} – температура воздуха на входе, К; c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, p_1 и p_2 – давление на входе и выходе; k – отношение между удельной теплоемкостью при постоянном давлении и удельной теплоемкостью при постоянном объеме; η – политропный КПД для центробежного сжатия (характеристика принятого воздухоподогревателя).

В соответствии с расчетным режимом массовый расход можно переводить в объемный (3) при заданной температуре, барометрическом давлении и влажности.

Энергопотребление центробежных воздухонагнетателей при аэрации можно рассчитать на основе воздушного потока, сжатия и внешних потерь. При расчете энергопотребления необходимо учесть два условия: массовый расход воздуха и политропный напор.

Удельный политропный напор (4), h_{is} (Дж/кг) – это напор, необходимый для политропного сжатия газа от общего давления и общей температуры на входе до общего давления на выходе.

Массовый расход и политропный напор определяют фактическую мощность, необходимую при конкретных условиях по давлению и температуре, за исключением потерь.

Удельная работа воздухонагнетателя – это фактическая мощность, включающая потери от редуктора, двигателя, подшипников, частотно-регулируемых приводов, термической и вязкой диссипации. Отношение между фактической мощностью и политропным напором представляет собой политропный КПД, η_{is} , за исключением тепловых потерь, при постоянной энтропии.

$$\eta_{is} = \frac{h_{is}}{h_o},$$

где h_o – удельная работа.

Энергопотребление компрессора без внешних потерь можно рассчитать на основе политропного напора, массового расхода и КПД (5).

Анализируя уравнения (3)–(5), легко заметить, что объемный расход воздуха V , удельный политропный напор h_{is} и мощность воздухоудвки P зависят от сезонных изменений температуры воздуха T_{in} . ΔP между рассматриваемыми вариантами выразит количество сэкономленной электроэнергии.

Массовый расход воздуха m (для нормальных условий) в приведенной системе уравнений зависит от суточных колебаний технологической нагрузки: расходов, концентраций сточных вод. Кроме того, он зависит от процентного содержания кислорода в подаваемом воздухе в соответствии с сезоном года.

Графический анализ представлен в относительных единицах от проектных величин.

Исследования свидетельствуют о значительном снижении энергопотребления при регулировании скорости подачи воздуха в соответствии с суточными и сезонными колебаниями технологических нагрузок (по расходам и концентрациям), температуры и политропного напора.

Регулирование объема подачи воздуха позволяет регулировать интенсивность аэрации в соответствии с необходимостью.

Без управления процессами аэрации объем подачи воздуха сохраняется постоянным, в то время как энергопотребление изменяется в соответствии с массовым расходом и политропным КПД. Максимальное расчетное энергопотребление наблюдалось у нерегулируемого воздухонагнетателя в зимний период, минимальное – у управляемого воздухонагнетателя в зимний период. Таким образом, снижение энергопотребления было максимальным в зимний период и минимальным – в летние месяцы.

Наиболее эффективным решением будет установка одноступенчатых центробежных воздухонагнетателей Siemens, основными преимуществами которых являются: регулируемый расхода от 100 до 45 % при постоянной частоте вращения; низкие эксплуатационные расходы из-за очень высокого КПД по всему регулируемому

промежутку, независимо от изменения внешних условий (температуры и давления); низкий уровень шума без пульсаций позволяет не устанавливать сбросной глушитель, в воздух не попадает масло.

Компрессор тип *SV*, в дополнение к управляемой системе диффузоров, позволяет устанавливать систему предварительной закрутки потока. В дополнение к контролю потока (тип *S*), контролируется напор поворотом *13* направляющих лопаток на входе. При этом достигается сверхвысокая эффективность по всему диапазону регулирования, а также при изменении внешних условий.

Регулируемый диффузор позволяет управлять подачей компрессора, меняя угол установки и, соответственно, площадь сечения диффузора. Для этого предусмотрена 21 поворотная лопатка диффузора. Лопатки имеют оптимизированный асимметричный аэродинамический профиль, что позволяет менять площадь сечения диффузора при поддержании высочайшей эффективности во всем рабочем диапазоне подачи компрессора. Лопатки установлены радиально вокруг крыльчатки.

Лопатки входного направляющего аппарата управляют углом атаки входного потока на лопатках крыльчатки. Тем самым регулируется относительная скорость воздушного потока. Благодаря этому можно регулировать подачу компрессора и оптимизировать энергопотребление в зависимости от меняющихся эксплуатационных параметров – температуры воздуха на входе, выходного давления и пр.

Вывод: самым энергоэффективным мероприятием является внедрение регулируемых воздуходувных агрегатов. Значительные суточные и сезонные неравномерности притока сточных вод и температур воздуха обуславливают целесообразность регулирования подачи воздуха на аэрацию.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В. С. Болутенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. Г. Ус

Эффективность систем городского наружного освещения в первую очередь обусловлена экономным использованием электрической энергии. Важность этого еще и в том, что на городское наружное освещение расходуется не менее 4,5 % от общего потребления электроэнергии в нашей стране, что составляет около 1,52 млрд кВт · ч в год.

Пути повышения эффективности наружного освещения предложены на основании результатов обследования существующего состояния его в городах: Минск, Гомель, Могилев, Бобруйск. Было проведено обследование, выполнен анализ характеристик систем городского наружного освещения и их элементов.

В качестве источников питания (ИП) осветительных установок (ОУ) выступают потребительские подстанции систем городского электроснабжения (около 95 % от общего количества ИП).

Управление наружным освещением городов (около 75 %) представляет централизованную телемеханическую и радиотелемеханическую дистанционные системы автоматического управления, порядка 20–25 % систем управления осуществляется в ручном режиме по каскадной связи, наряду с этим используются также автономные реле времени и фотореле – 3–5 %.

Групповые сети электрического освещения выполнены в виде магистральных одно-, двух- и трехфазных линий. Большинство сетей – это воздушные линии ВЛ (ВЛ) – 60 % (А, АС, СИП), кабельные – 40 % (ААБл, АСБ, АВВГ, АВБШВ и др.).

В качестве источников света (ИС) используются натриевые лампы (более 80 % от общего количества ИС). Световая отдача их составляет 80–140 лм/Вт. Около 20 % – составляют светодиодные осветительные приборы (ОП), световая отдача их в пределах 100–120 лм/Вт.

В результате экспериментального обследования освещенность дорог в 30 % случаев ниже существующих норм в два-три раза. К сожалению, экономия электроэнергии достигается за счет отключения световых приборов при недостаточном уровне естественного света. Светильники имеют устаревшую конструкцию, доля старого оборудования, включая не только светильники, но и опоры, кабели, в Беларуси вообще более 35 %. Средняя мощность светоточки составляет примерно 135 Вт. Средний процент фактических потерь электроэнергии в групповых сетях составляет порядка 10 % и оценивается как максимально допустимый.

Имеет место значительный расход электроэнергии. Затраты на искусственное освещение в первую очередь обусловлены использованием неэкономичных световых приборов, потерями в линиях и ПРА, а также отсутствием эффективного управления и оперативного выявления и устранения аварийных ситуаций.

С целью систематизации подхода к энергосбережению, охвата всех областей, объектов, факторов, формирующих электропотребление ОУ, чтобы в полном объеме разработать (наметить) мероприятия по экономии электроэнергии на освещение, предлагается анализ электропотребления ОУ выполнять по функциональным признакам, определяющим расход электроэнергии на освещение, а следовательно, и области возможной экономии ее. В связи с этим предлагается все факторы условно классифицировать на следующие три группы: светотехнические, электрические и организационные, в том числе управление освещением.

Светотехническими факторами являются:

– **уровень освещенности.** Уровень нормируемой минимальной освещенности регламентируется ТКП 45-4.04-287–2013 «Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования» [2], ТКП 45-2.04-153–2009 [3] и определяются физиологическими требованиями зрения человека, развитием осветительной техники и уровнем энерговооруженности страны. Следует отметить, что среднеевропейские уровни освещенности дорог и магистралей на порядок выше, чем нормы, установленные ТКП. Также в ТКП не учитываются требования к цветопередаче объектов наружного освещения;

– **световая отдача источников света (ИС),** определяющая их экономичность (табл. 1).

Таблица 1

Пределные значения величин световой отдачи источников света, лм/Вт

ЛН	КГ	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	СИД
8...20	15...28	35...80	40...90	40...60	35...100	80...140	100...176

– **коэффициент использования светового потока (η).** η , а также количество источников света – n , являются активными параметрами, определяющими мощность источника света.

Горизонтальная освещенность E_i [лк] в i -й точке расчетного поля определяется как

$$E_i = \frac{1}{k_3} \sum_{j=1}^M I_{i,j} \cos^3 \delta_{i,j} / h_j^2, \quad (1)$$

где $I_{i,j}$ – сила света j -го ОП в i -ю точку, кд; $\delta_{i,j}$ – угол падения луча от j -го ОП в i -ю точку; k_3 – коэффициент запаса ОУ; h_j – высота расположения j -го ОП над полотном дороги, м; M – число ОП, учитываемых при расчете [1].

Коэффициент использования светового потока можно представить в виде:

$$\eta = \eta_c \eta_d, \quad (2)$$

где η_c – КПД светильника, о. е.; η_d – КПД дорожного покрытия, о. е.;

– **коэффициент полезного действия светильника (η_c)**, представляющий собой отношение светового потока светильника к полному световому потоку источника (источников) света светильника. η_c определяется его конструктивным исполнением, материалами отражателей и рассеивателей.

Повышение КПД существующих осветительных приборов вследствие их чистки. Экономия электроэнергии в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{ri} k_{чи}, \quad (3)$$

где $k_{чи}$ – коэффициент эффективности чистки светильников:

$$k_{чи} = 1 - \left(gc + bce - \left(\frac{t}{tc} \right) \right), \quad (4)$$

где gc , bce , tc – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников; t – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками;

– **коэффициент полезного действия дорожного покрытия**, или унифицированное значение коэффициента использования (η_d). η_d определяется коэффициентами отражения (ρ_n – поверхности дороги, ρ_c – стен), типовыми кривыми силы света светильников (КСС);

– **размещение светильников**. Размещение светильников определяется высотой подвеса их и расположением светильников на плане (генплане) освещаемого объекта.

Электрические факторы:

- **рациональное построение осветительной сети;**
- **потери в пускорегулирующем аппарате и линиях электропередач;**
- **регулирование напряжения питания осветительных установок;**
- **компенсация реактивной мощности.**

Организационные факторы:

– **способы и технические средства управления освещением**. Предполагается применение автоматического управления: а) непрерывное плавное управление световым потоком светильников, а следовательно, и мощностью ИС в зависимости от распределения естественной освещенности (позволяет экономить до 40 % расходуемой электроэнергии); б) контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения по заданным значениям минимальной и мак-

симальной освещенности (экономия электроэнергии может составлять до 15 %);
в) зонное управление освещенности в зависимости от времени и (или) естественной освещенности (экономия электроэнергии – до 25 %).

На основании опыта внедрения систем автоматизации экономию от данного мероприятия можно определить по формуле

$$\Delta W_i = W_{ri}(k_{э,а} - 1), \quad (5)$$

где $k_{э,а}$ – коэффициент эффективности автоматизации управления освещением, который зависит от уровня сложности системы управления (табл. 2);

Таблица 2

Значения коэффициента эффективности автоматизации управления освещением

Уровень сложности системы автоматического управления освещением	
Контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения при критическом значении E	1,1...1,15
Зонное управление освещением (включение и отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	1,2...1,25
Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	1,3...1,4

– *стимулирование работников* за экономное использование электрической энергии ОУ.

В условиях многообразия энергосберегающих мероприятий представляется целесообразным основывать на специализированных программных комплексах, которые позволяют автоматизировать процессы выбора оборудования, а также рассчитывать энергосберегающий эффект и показатели экономической оценки эффективности затрат.



Рис. 1. Структурная схема расчетно-справочной системы

Заключение

1. Экономное использование электроэнергии осветительными установками обуславливает необходимость системного и комплексного подхода к решению данной проблемы, с учетом совместного рассмотрения вопросов проектирования и эксплуатации осветительных установок.

2. Необходимо обновление нормативно-справочной информации для проектирования осветительных установок на основании достижений осветительной техники, результатов энергетического обследования осветительных установок.

3. В общем случае все факторы, определяющие расход электроэнергии на освещение, можно классифицировать на: светотехнические, электрические, организационные. Анализ этих факторов для конкретной осветительной установки позволит в полной мере наметить мероприятия по экономии электроэнергии в ОУ.

4. Создание компьютерных систем для решения задач энергосбережения целесообразно основывать на интерактивных приложениях, что максимально упрощает процессы разработки и обоснования комплекса мероприятий по повышению эффективности систем электроснабжения наружного освещения.

Литература

1. Руководство пользователя Light-in-Night Road. – Режим доступа: http://www.l-i-n.ru/download/users_manual?format=raw. – Дата доступа: 04.03.2017.
2. ТКП 45-4.04-287–2013 Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2013.

СОПОСТАВИМЫЙ АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩЕГО СТАНДАРТА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ГОСТ 32144–2013 С ГОСТ 13109–97

Е. В. Петренко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алферова

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество. Понятие «качество электрической энергии» отличается от понятия качества других товаров. Качество электроэнергии проявляется не непосредственно, а через качество работы электрических приемников.

Энергетическая стратегия Республики Беларусь ставит одной из актуальных задач обеспечение надежности, безопасности и управляемости электроэнергетических систем с обязательным условием поставки потребителям высокого качества электрической энергии. Это, в свою очередь, способствует увеличению актуальности вопросов, связанных со стандартизацией и нормативно правовым обеспечением вопросов качества электрической энергии.

Плохое качество электроэнергии приводит к финансовому ущербу, величина которого определяется:

- увеличением потерь электрической энергии;
- сокращением срока службы изоляции электрооборудования;
- нарушением нормальной работы релейной защиты и автоматики;
- сбоям в работе микропроцессорного оборудования;

- снижением устойчивости и надежности систем электроснабжения;
- ростом эксплуатационных издержек.

Начиная с 1997 г. и до 2016 г. основным нормативным документом, устанавливающим в Республике Беларусь нормы на показатели качества электрической энергии и требования к контролю, методам и средствам измерений, являлся стандарт ГОСТ 13109–97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1]. В стандарте определяются показатели и нормы качества электроэнергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках присоединения электрических сетей, находящихся в собственности различных потребителей электроэнергии.

Госстандартом устанавливается периодичность контроля качества электрической энергии. Необходимая регистрация показателей качества электроэнергии (ПКЭ) проводится один раз за два года, а измерение отклонения напряжения – два раза за текущий год.

Целью измерения и анализа основных показателей качества электроэнергии является определение соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. Несоответствие отдельных показателей качества нормированным значениям влечет за собой прямые экономические потери, в то время как несоответствие других показателей – не прямые (к примеру, остановка производства из-за провала напряжения). Другими словами, оборудование потребляет энергии больше, чем отдает, и «лишняя» энергия расходуется на перегрев двигателей, трансформаторов и пр. То есть имеются дополнительные повышенные технические потери.

Например, при несинусоидальном напряжении с $K_i = 7\%$ ток утечки в изоляции кабеля за 3,5 года возрастает на 43 %.

При пониженном на 10 % напряжении срок службы асинхронного двигателя (АД) сокращается в два раза. При повышении на 1 % – реактивная мощность возрастает на 5–7 %. Рост реактивной мощности ведет к дополнительным потерям в элементах сети.

Контроль качества электроэнергии включает в себя оценку различных показателей и их соответствие принятым нормам. При дальнейшем анализе качества электрической энергии определяются источники, вызывающие ухудшение этих показателей.

Обязательным требованием при сертификации является проверка таких показателей, как:

- установившееся отклонение напряжения;
- отклонение частоты;
- коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения;
- коэффициент n -й гармонической составляющей;
- коэффициент несимметрии напряжений обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений нулевой последовательности.

Определять показатели качества электроэнергии достаточно непросто, так как многие процессы, связанные с электрическими сетями, происходят очень быстро. Все нормативные показатели качества электроэнергии важно рассчитывать. Окончательное заключение по ПКЭ делается на основании обработанных результатов. При этом выполняется большой объем измерений и одновременная статистическая и математическая обработка полученных значений.

С 1 апреля 2016 г. прекратил свое действие ГОСТ 13109–97 и введен межгосударственный стандарт ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость

технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [2].

При сравнении действующего ГОСТ 32144–2013 по нормированию показателей качества электроэнергии и фундаментального для нашей страны ГОСТ 13109–97 можно выделить их основные отличия.

Первое отличие, на которое необходимо обратить внимание: в ГОСТ 32144–2013 изменен интервал времени, соответствующий расчетному интервалу времени на одну неделю. В то время как в ГОСТ 13109–97 для определения соответствия значений измеряемых показателей КЭ, за исключением длительности провала напряжения, импульсного напряжения, коэффициента временного перенапряжения, нормами настоящего стандарта устанавливается минимальный интервал времени измерений, равный 24 ч, соответствующий расчетному периоду.

В ГОСТ 32144–2013 изменения характеристик электрической энергии разделены на две категории – продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события. Продолжительные изменения представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок. Применительно к ним в стандарте установлены показатели и нормы КЭ. Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных, и вызываются непредсказуемыми событиями, к которым относятся прерывания и провалы напряжения, перенапряжения, импульсные напряжения. Для случайных событий приведены справочные данные.

В отличие от ГОСТ 13109–97 в ГОСТ 32144–2013 процедура проведения контроля производится на основе ГОСТ 51317.4.30–2008 и ГОСТ 51317.4.7–2008, что принципиально важно, так как при использовании в совокупности этих стандартов создается единая система требований к ведению контроля КЭ.

В ГОСТ 32144–2013 введены интергармонические составляющие напряжения, хотя никаких ограничений по их отклонению пока нет, они находятся на стадии разработки.

ГОСТ 13109–97 – нормы установившегося отклонения напряжения отнесены к выводам электроприемников, которые присоединены, как правило, к сетям потребителей, на которые не распространяется сфера ответственности сетевой компании. ГОСТ 32144–2013 обязывает потребителя на своей стороне обеспечить условия, при которых отклонения напряжения питания на выводах ЭП не превышают установленных для них допустимых значений, если выполняются требования настоящего стандарта к КЭ в точке передачи электрической энергии. На потребителей также возлагается ответственность за обеспечение требуемого КЭ. Это согласуется с требованиями, чтобы поставщики электроэнергии несли ответственность за обеспечение КЭ, поставляемой потребителям, а изготовители электроустановок и электротехнического оборудования и потребители, приобретающие его, несли ответственность за то, чтобы указанное оборудование и установки при вводе в эксплуатацию не создавали недопустимых кондуктивных электромагнитных помех в сетях питания.

В новом стандарте есть отличия по времени интеграции показателей качества электроэнергии. Время интеграции показателей качества электрической энергии согласно с ГОСТ 51317.4.30–2008 составляет:

- 1) медленные отклонения напряжения – время интеграции 10 мин, вместо 1 мин в ГОСТ 13109–97;
- 2) несимметрия напряжения время интеграции 10 мин, вместо 3 с;
- 3) гармонические составляющие напряжения – время интеграции 10 мин вместо 3 с.

Для медленных отклонений напряжения убраны режимы наименьших и наибольших нагрузок и нормально допустимые значения. В стандарте указываются только предельно допустимые значения, определяемые границами $\pm 10\%$ от номинального напряжения.

Гармонические составляющие напряжения должны проводиться в соответствии с ГОСТ 51317.4.7–2008.

Вместо коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в ГОСТ 32144–2013 несинусоидальность напряжения характеризуется суммарным коэффициентом гармонических составляющих.

В соответствии с ГОСТ 51317.4.30–2008 непосредственно в сам ГОСТ 54149–2010 введено понятие маркирования данных для следующих категорий событий: отклонение частоты; медленные изменения напряжения; фликер; несимметрия напряжений; гармонические составляющие напряжения. При этом маркированные данные не должны учитываться при подготовке протоколов измерений. Маркирование данных позволяет не фиксировать одно и то же событие КЭ в нескольких категориях одновременно.

В общем можно отметить, что произошло некоторое ужесточение требований к ПКЭ, это привело к тому, что средства измерения показателей качества электрической энергии, которые существовали до введения данного ГОСТ, не удовлетворяют новым требованиям. Это, в свою очередь, способствует росту необходимости создавать новые средства измерения показателей качества электрической энергии, которые будут соответствовать новым стандартам.

Литература

1. ГОСТ 13109–97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 1.08.1999. – Минск : БелГИСС, 1999. – 31 с.
2. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 1.02.2016. – Минск : БелГИСС, 2015.
3. ТКП 183.1–2009 Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Ч. 1 : Контроль качества электрической энергии.
4. ТКП 183.2–2009 Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Ч. 2 : Анализ качества электрической энергии.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ДАВЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

А. И. Аршуков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Овсянник

Прежде чем попасть к потребителю, природный газ подвергается дросселированию на газораспределительных станциях (ГРС) и газораспределительных пунктах (ГРП), где безвозвратно теряется огромное количество энергии сжатого газа. Использование энергии давления газа путем преобразования ее в электрическую энергию осуществляется в детандерно-генераторных агрегатах (ДГА). Он представляет собой расширительную газовую турбину, вал которой соединен с электрогенерато-

ром. Предварительный нагрев газа перед турбиной повышает его внутреннюю энергию, что позволяет получить больше механической работы и избежать выпадения газовых гидратов при последующем расширении и охлаждении газа (температура газа за турбиной не должна быть меньше 5 °С).

В данной работе будет оценена целесообразность утилизации энергии природного газа среднего давления в котельной, оснащенной двумя котлами ПТВМ-100. Котлы работают с естественной тягой, создаваемой железобетонной дымовой трубой высотой 120 м. Расход природного газа на один котел – 3,25 м³/ч. Давление газа на входе в ГРУ – 0,3 МПа. Давление газа в горелках котла – 0,01–0,05 МПа. Температура уходящих газов – 185 °С. В данных условиях для подогрева газа перед турбиной целесообразно использовать теплоту уходящих дымовых газов.

В качестве подогревателя был выбран типовой трубчатый подогреватель со стальными трубами диаметром 40/37 мм. Дымовые газы проходят внутри труб, а нагреваемый природный газ омывает их снаружи поперечным током. В результате расчета теплообменного аппарата согласно расчетам было получено, что для подогрева природного газа необходимы две секции подогревателя ВП-О-228 площадью нагрева $S = 2 \times 228 = 456 \text{ м}^2$. Отбор дымовых газов предложено осуществлять с помощью дополнительного дымососа двухстороннего всасывания Д-15,5 × 2.

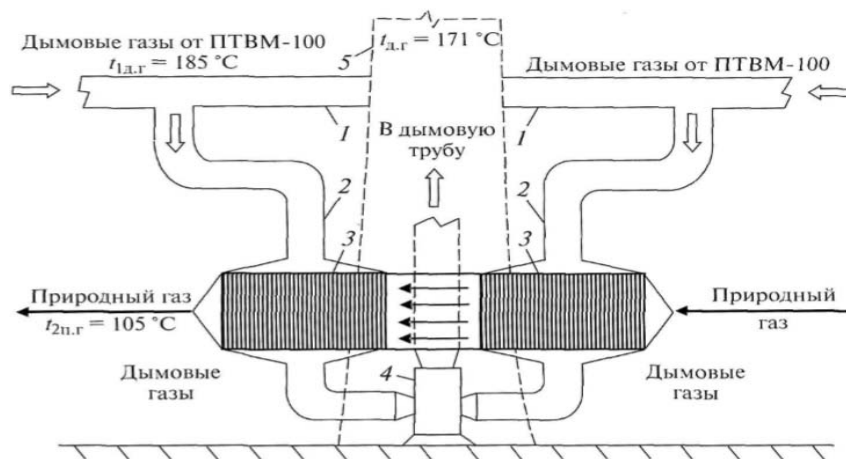


Рис. 1. Схема установки теплообменного аппарата в газовом тракте котельной:
 1 – газоходы от котлов ПТВМ-100; 2 – газоходы отвода дымовых газов в подогреватель природного газа; 3 – секции подогревателя; 4 – дымосос двухстороннего всасывания; 5 – дымовая труба

Выбор ДГА осуществляли на основе оценки величины работы адиабатного расширения газа с давлением $p_1 = 0,27 \text{ МПа}$ до $p_2 = 0,08 \text{ МПа}$ (поскольку давление в ГРУ равно 0,3 МПа, а подаваемого на горелки котлов – не более 0,05 МПа, указанные значения p_1 и p_2 оставляют запас на компенсацию потерь давления по длине газопроводов и в местных сопротивлениях). Совершаемую газом удельную работу рассчитали по формуле

$$a = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right].$$

Удельный объем газа находили из уравнения

$$v_1 = \frac{1}{\mu_{п.г}} \frac{RT_1}{p_1} = \frac{1}{16,45} \frac{8,314 \cdot 10^3 (273 + 105)}{0,27 \cdot 10^6} = 0,708 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Подставляя значения v_1 и k в формулу для работы, получим:

$$a = \frac{0,27 \cdot 10^6 \cdot 0,708}{1,314 - 1} \left[1 - \left(\frac{0,08 \cdot 10^6}{0,27 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,312-1}{1,312}} \right] = 153,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Массовый расход газа G_m :

$$G_m = V_{п.г} \rho_{п.г} = 7,5 \cdot 0,734 = 5,51 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Выделяющаяся при расширении газа мощность:

$$N_{дГА} = aG_m = 153,9 \cdot 5,51 = 848 \text{ кВт.}$$

Температура газа после адиабатного расширения в турбине:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 378 \left(\frac{0,08 \cdot 10^6}{0,27 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,312-1}{1,312}} = 283 \text{ К.}$$

Для получения значения мощности газа без его сжигания может быть применен детандер ЭТДА-1500 мощностью до 1500 кВт. Схема компоновки приведена на рис. 1.

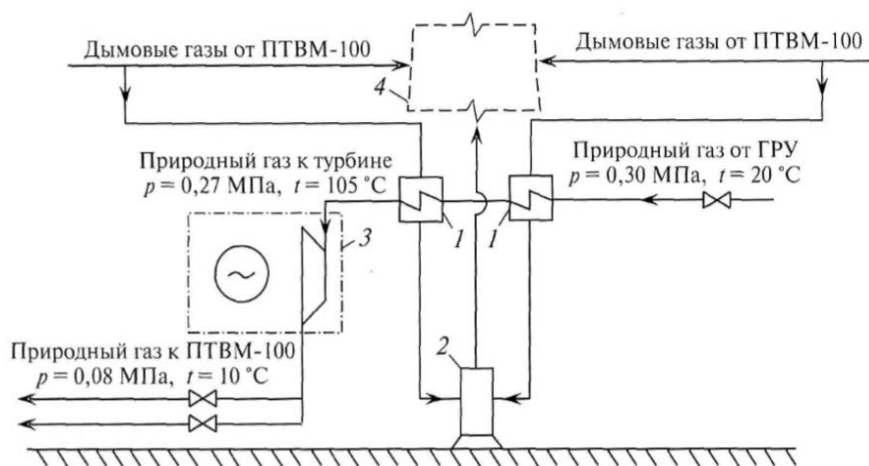


Рис. 2. Схема компоновки основного оборудования газотурбинной станции:
1 – секции подогревателя природного газа; 2 – дымосос; 3 – ДГА;
4 – дымовая труба

При полной тепловой нагрузке двух водогрейных котлов ПТВМ-100 подаваемый в них природный газ, расширяясь с 0,27 до 0,08 МПа, обеспечивает с учетом КПД турбины и генератора выработку электрической энергии (дополнительная мощность – 0,7–0,8 МВт), что практически покрывает собственные нужды котельной в электроэнергии (привод насосов и вентиляторов).

Оценка периода окупаемости капитальных затрат ДГА при разном времени его работы и цене на электроэнергию показана на рис. 3.

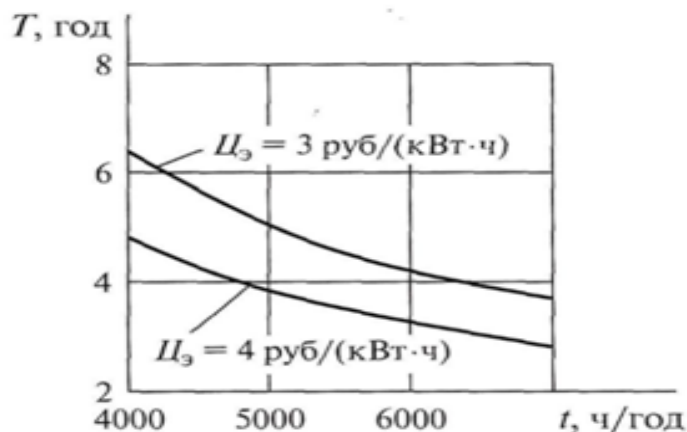


Рис. 3. Зависимость периода окупаемости капитальных затрат на ДГА T в условиях водогрейной котельной от времени его работы и цена на электроэнергию

В расчете учитывали стоимость основного оборудования (воздухоподогревателей, дымососа, ДГА, дополнительных газоходов) и его монтажа. Для предприятий ЖКХ под ценой на электроэнергию понимался одноставочный тариф, дифференцированный по двум зонам суток; его значение принимали в диапазоне от 3 до 4 р./(кВт·ч).

Как показывает анализ, период окупаемости капитальных затрат может составлять от 2,8 до 6,4 года. Таким образом, эффективность ДГА в условиях водогрейной котельной при начальном давлении природного газа порядка 0,3 МПа и наличии источника утилизационной теплоты оказывается сопоставимой с экономическими показателями более крупных ДГА, работающих при начальном давлении природного газа 4–6 МПа.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАРДИНАМИЧЕСКОГО ТЕРМОСИФОНА С УДЛИНЕННЫМИ ЗОНАМИ ИСПАРЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

А. В. Родин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Шаповалов

Целью работы является разработка расчета термического сопротивления пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в удлиненных зонах конденсации и испарения.

Методы определения термического сопротивления тепловых труб основаны на составлении схем замещения возможных термических сопротивлений участков устройства. Схемы замещения тепловых труб представлены в [1], [2]. Данный подход возможно применить для расчета термического сопротивления пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе, учитывая следующее:

- можно пренебречь сопротивлением, которое возникает в результате трения паровой и жидкой фазы теплоносителя внутри устройства, так как данные потоки разделены в полости термосифона и не оказывают никакого влияния друг на друга;
- необходимо учесть термические сопротивления фазовых переходов как в зоне испарения, так и в зоне конденсации устройства;
- не учитывается термическое сопротивление пористых структур, так как в данной конструкции термосифона они отсутствуют.

На рис. 1 показана конструкция пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в удлиненных зонах конденсации и испарения и зоны снижения температуры. Составленная схема замещения устройства с учетом возможных сопротивлений показана на рис. 2.

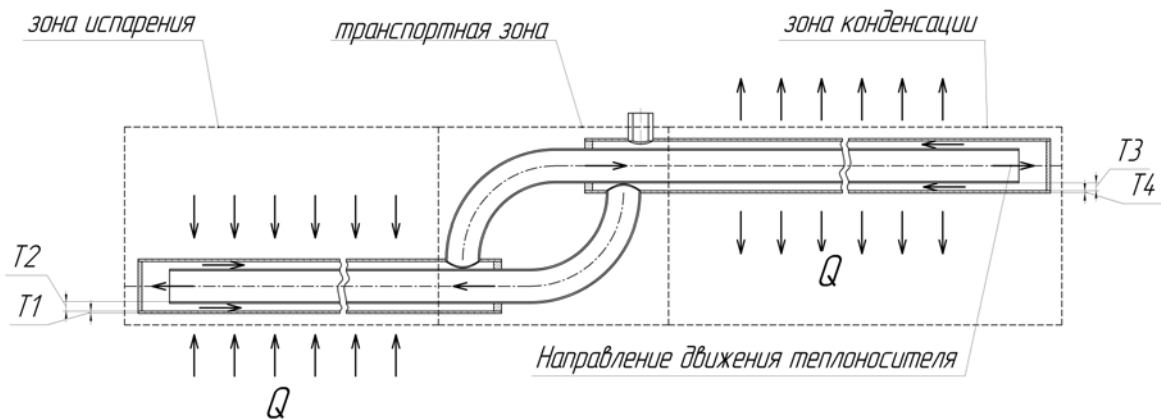


Рис. 1. Пародинамический термосифон и характерные разности температур, учитываемые при определении термического сопротивления устройства

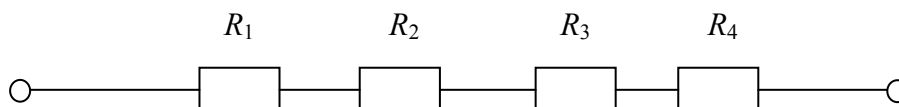


Рис. 2. Эквивалентные термические сопротивления в пародинамическом термосифоне:

R_1 и R_4 – термическое сопротивление стенки испарителя и конденсатора пародинамического термосифона, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; R_2 и R_3 – термическое сопротивление фазового перехода в зоне испарения и зоне конденсации, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

Выражения для определения составляющих термического сопротивления представлены в таблице.

Термические сопротивления пародинамического термосифона

№	Термическое сопротивление	Литература
1	$R_1 = \frac{D_2 \ln \frac{D_2}{D_1}}{2\pi\lambda}$	[3, ф-ла 2-42]
2	$R_2 = \frac{1}{\alpha_2} = \frac{X}{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{ж.нас}}} = \frac{1}{C_{sf}} \frac{\sqrt{\frac{\gamma}{g(\rho_{\text{ж.нас}} - \rho_{\text{пар}})}}}{\text{Re}_{\text{ж.нас}}^{0,67} \text{Pr}_{\text{ж.нас}}^{-0,7} \lambda_{\text{ж.нас}}}$ $\text{Re}_{\text{ж.нас}} = \frac{q_s \sqrt{\frac{\gamma}{g(\rho_{\text{ж.нас}} - \rho_{\text{пар}})}}}{\mu_{\text{ж.нас}} r_f} \quad \text{Pr}_{\text{ж.нас}} = \left(\frac{c_p \mu}{\lambda} \right)_{\text{ж.нас}}$	[4, табл. 5.2, п.2]
3	$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} = \frac{D_1}{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{ж.нас}}} =$ $= \frac{D_1}{0,555 \left[\frac{D_1^3 \rho_{\text{ж.нас}} (\rho_{\text{ж.нас}} - \rho_{\text{пар}}) g}{\lambda_{\text{ж.нас}} \mu_{\text{ж.нас}} \Delta t} (r_g + 0,68 \cdot c_{p \text{ ж.нас}} \cdot \Delta t) \right]^{1/4}} \lambda_{\text{ж.нас}}$	[4, табл. 5.4, п.3]
4	$R_4 = \frac{D_2 \ln \frac{D_2}{D_1}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda}$	[3, ф-ла 2-42]

Обозначения: D_1 – внутренний диаметр трубы термосифона, м; D_2 – внешний диаметр трубы термосифона, м; λ – теплопроводность материала трубы термосифона, Вт/м · °С; α_2 – коэффициент теплоотдачи при кипении, Вт/м² · °С; X – характеристическая длина, м; Nu – критерий Нусельта; $\lambda_{\text{ж.нас}}$ – коэффициент теплопроводности насыщенной жидкости, Вт/м · °С; γ – поверхностное натяжение, Н/м; g – ускорение силы тяжести, м/с²; $\rho_{\text{ж.нас}}$ – плотность насыщенной жидкости, кг/м³; $\rho_{\text{пар}}$ – плотность пара, кг/м³; C_{sf} – коэффициент в формуле теплоотдачи для пузырькового кипения [40, табл. 5.3]; Re – критерий Рейнольдса; Pr – критерий Прандтля; q_s – плотность теплового потока, Вт/м²; $\mu_{\text{ж.нас}}$ – динамическая вязкость насыщенной жидкости, Н · с/м²; r_f – удельная теплота парообразования, Дж/кг; $c_{p \text{ ж.нас}}$ – удельная теплоемкость насыщенной жидкости при постоянном давлении, Дж/кг · °С; α_3 – коэффициент теплоотдачи при конденсации, Вт/м² · °С; Δt – перепад температур между температурой стенки и температурой насыщения, °С; r_g – скрытая теплота конденсации, Дж/кг.

При расчете теплообменных аппаратов также необходимо учитывать термические сопротивления теплоотдачи от внешнего теплоносителя к поверхности испарителя термосифона и от стенки конденсатора термосифона к потоку нагреваемого теплоносителя.

Сравнение результатов расчета и полученных экспериментальных данных показано на рис. 3.

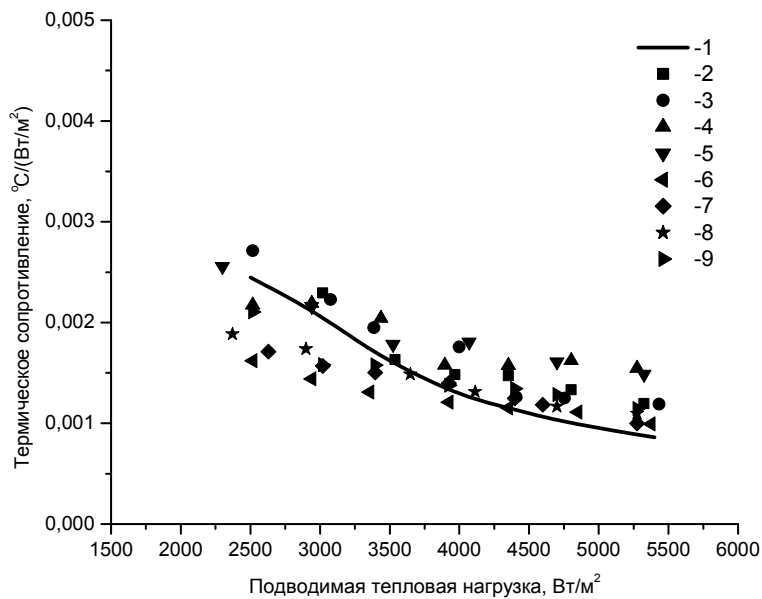


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных и результатов расчета (данные приведены для термосифона, заправленного водой):

- 1 — результаты расчета; 2 — эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 0°; 3 — эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 30°; 4 — эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 35°; 5 — эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 40°; 6 — эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 0°; 7 — эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 30°; 8 — эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 35°; 9 — эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 40°

Вывод: приведен расчет термического сопротивления пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в зонах конденсации и испарения, позволяющий учитывать величину подводимого теплового потока и род жидкости.

Литература

1. Чи, С. Тепловая труба: Теория и практика / С. Чи ; пер. с англ. В. Я. Сидорова. — М. : Машиностроение, 1981 — 207 с.
2. Дан, П. Д. Тепловые трубы ; пер. с англ. / П. Д. Дан, Д. А. Рей. — М. : Энергия, 1979. — 272 с.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача : учеб. для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергия, 1975. — 488 с.
4. Уонг, Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник ; пер. с англ. / Х. Уонг. — М. : Атомиздат, 1979. — 216 с.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТУРБОДЕТАНДЕРА

Л. В. Романенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Овсянник

На ТЭЦ устанавливается теплоэнергетическое оборудование для производства пара с определенными параметрами, паровые турбины, сетевые теплообменники. В отличие от системы теплоснабжения на базе ТЭЦ, объекты малой энергетики — ото-

питательные котельные – менее экономичны из-за выработки только тепловой энергии. Решить эти проблемы для малой энергетики можно с помощью «Органического цикла Ренкина», по которому возможно осуществить комбинированное производство энергии.

Для производства электрической энергии и для поддержания номинального режима работы котлов с максимальным КПД разработана схема котельной с использованием ОЦР-установки с турбодетандером (рис. 1).

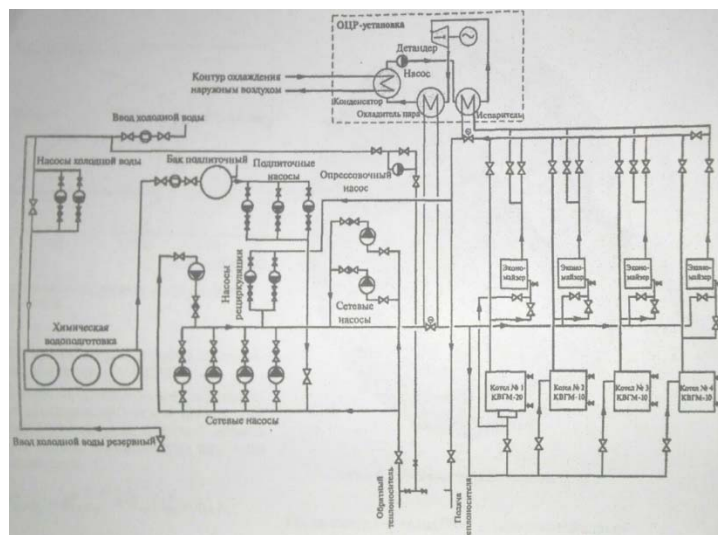


Рис. 1. Схема котельной установки с органическим циклом Ренкина

Установка присоединяется к схеме котельной обвязкой испарителя и конденсатора так, что теплоноситель системы теплоснабжения после нагрева в котлах проходит экономайзер, подогревается до необходимой температуры и из коллектора подается в испаритель ОЦР-установки. В испарителе теплоноситель нагревает хладон, доводя его до состояния перегретого пара. Далее, пар совершает работу в турбодетандере и подается в охладитель, где охлаждается оборотной водой из системы теплоснабжения, переходя при этом в фазу влажного пара. Влажный пар в конденсаторе переходит в жидкую фазу, отдавая тепло охлаждающему теплоносителю из системы воздушного охлаждения наружным воздухом. Жидкий хладон необходимого давления с помощью насоса подается в испаритель.

Разработка турбодетандера для ОЦР является наиболее ответственной и дорогой частью процесса проектирования всей паросиловой установки. Для установок, работающих по ОЦР, используются различные виды оборудования, преобразующего энергию рабочего тела в механическую работу с максимальным КПД. Это достигается путем выбора оптимального рабочего тела, подходящего для температур греющего и охлаждающего теплоносителей, а также конструкций машины, в которой совершается полезная работа. Если проанализировать и сравнить различные типы турбомашин и мощностей, то наиболее эффективно использовать турбомшины мощностью от 300 до 1000 кВт с радиальным типом колес.

Холодильный агент должен быть выбран из числа благоприятных для применения в турбокомпрессорах. Основными критериями для выбора являются: химическая стабильность, экологичность, нетоксичность и низкая воспламеняемость. Если сравнивать R134a и R245fa, то они являются одними из лучших по показателям для цикла Ренкина при низких температурах. Низкой температурой считается $T < 230$ °С.

Для получения наибольшей эффективности при температуре менее $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в цикле Ренкина предпочтительно должны быть использованы R134a и R245fa. Температура разложения органических веществ больше чем $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура разложения R245fa превышает $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, и он может быть использован до температуры $227\text{ }^{\circ}\text{C}$. К сожалению, R134a в системах с температурой в испарителе ниже $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ заканчивается существенной потерей производительности системы из-за разницы в удельном весе пара. В таких случаях лучше выбрать смесь хладагентов. Построены зависимости теплового коэффициента цикла от температуры хладагента на входе в турбину (рис. 2).

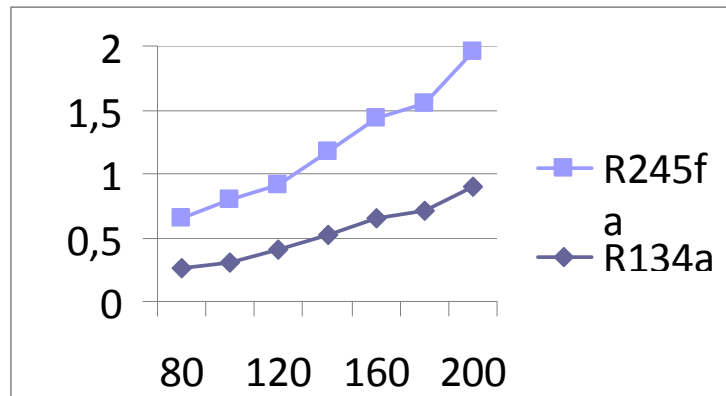


Рис. 2. Зависимость теплового коэффициента цикла от температуры хладагента на входе в турбину

Согласно литературным данным, хладагент R245fa является подходящим для источника тепловой энергии малой энергетики (температура отпускаемого теплоносителя до $130\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для повышения эффективности цикла Ренкина необходимо добиться минимальной разности температур между источниками и рабочим телом. С другой стороны, рост коэффициента преобразования напрямую связан с разностью температур между горячим и холодным источниками теплоты. Чем выше критическая температура рабочего тела, тем выше энергетическая эффективность цикла Ренкина при заданных температурах источников, что иллюстрируется на рис. 3, где приведены пограничные кривые воды, циклогексана и R245fa.

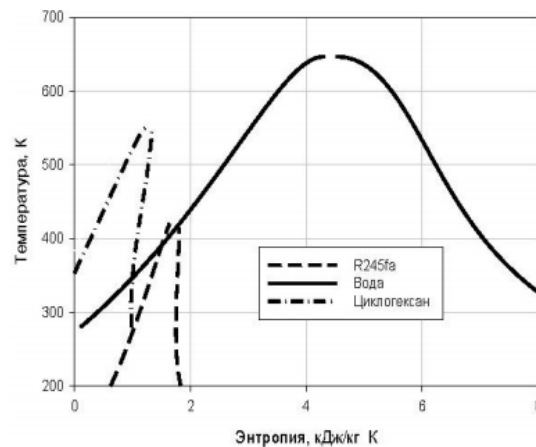


Рис. 3. Сопоставление пограничных кривых в диаграмме температура–энтропия

TS-диаграмма органического цикла Ренкина с рабочим телом R245fa приведена на рис. 4: через испаритель внешний теплоноситель передает рабочей жидкости тепловую энергию. Рабочая жидкость испаряется и переходит в газовое состояние 1-2-3; Газообразное рабочее тело расширяется в турбодетандере и совершает работу 3-4; После расширения рабочее тело охлаждается и конденсируется – процесс 4-5-6; Насос завершает цикл, повышая давление в системе до необходимого – линия 6-1.

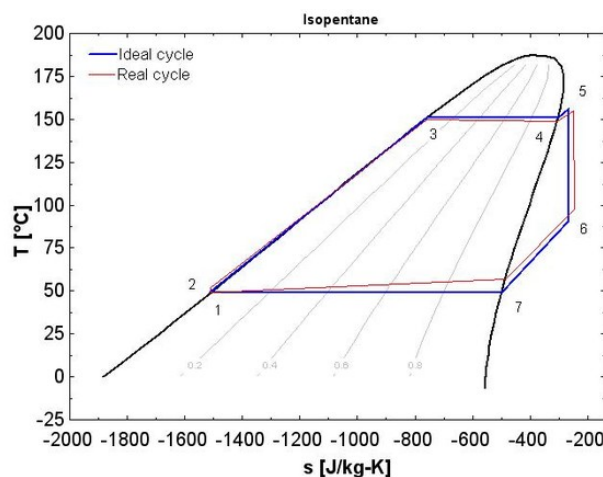


Рис. 4. TS-диаграмма органического цикла Ренкина с рабочим телом фреон R245fa (пентофторпропан)

Тепло, отводимое от органического рабочего тела, при определенных режимах может быть полностью использовано для нагрева обратной сетевой воды.

При расчете технико-экономического эффекта тариф на электрическую энергию принимается приведенным к одноставочному, равным 0,103 р. за 1 кВт · ч, среднегодовой тариф на газ принят 0,16 р./м³. Затраты топлива на выработку тепловой энергии рассчитывались исходя из значения КПД котла 90,5 % и теплоты сгорания газа – 9,26 кВт/м³.

Органический цикл Ренкина позволяет решить проблемы малой энергетики.

Для применения ОЦР-установок в котельных средней тепловой мощности наиболее эффективны турбины, турбодетандеры, с осерадиальным типом колес.

Потенциал использования низкотемпературной тепловой энергии для выработки электроэнергии способствует развитию исследований систем и установок.

УТИЛИЗАЦИЯ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ

В. Г. Рагина

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. С. Трошев

В настоящее время в Республике Беларусь значительное внимание уделяется вопросам энергосбережения, так как топливо в основном у нас импортируется из-за границы. При этом производство спирта является очень энергоемким процессом. На спиртзаводах в качестве топлива используют обычный природный газ. В ходе перера-

ботки сырья для получения спирта получается большое количество послеспиртовой барды, которая вывозится для утилизации с предприятия. Эту барду можно пустить на выработку биогаза. Таким образом, мы откажемся от покупки импортного топлива, а также сэкономим значительные средства на вывоз и захоронение этих отходов.

За 2015 г. на спиртзаводе образовалось 96644,4 т барды после получения спирта. Для снижения использования импортируемого природного газа предлагается использовать эту барду для получения биогаза с последующим его использованием для получения тепловой энергии на котельной.

Исходные данные:

Жидкая пшеничная барда обеспечивает выход биогаза на уровне 36,1 м³/т с содержанием метана 58,9 %.

Барда образуется 305 суток в году 24 ч в сутки.

Годовой выход биогаза составляет 3488,9 тыс. м³.

При содержании метана 58,9 % теплота сгорания биогаза составляет 21,104 МДж/м³.

Годовой выход условного топлива составляет 2510,4 т у. т.

Коэффициент эффективности 0,9.

Действительный выход условного топлива составляет 2259,4 т у. т.

Суточный расход барды составляет 316,87 м³.

Для примера подберем 4 установки БЭЗ-1000, суточной загрузкой 100–150 м³ и емкостью биореактора 1000 м³.

Произвели расчет и результаты занесли в таблицу.

Результаты расчета установки

Наименование параметра	Значение	
Количество теплоты, требуемой для нагрева ежесуточно загружаемой биомассы до необходимой температуры брожения Q_T , Дж	0	
Тепловые потери биогазовой установки Q_y , Мкал/ч	120,57	
Годовой расход теплоты на обогрев метатенка, Гкал	882,57	
Годовой расход условного топлива на обогрев метатенка B_n , т у. т.	150,04	
Необходимая электроэнергия для перемешивания биомассы W_n , кВт	420	
Годовой расход электроэнергии $W_{п}^{год}$, тыс. кВт · ч	538,02	
При сжигании:	природного газа	биогаза
Теоретический объем воздуха, необходимого для сгорания топлива при сжигании газа V^o , м ³ /м ³	9,5778	5,6073
Действительный объем дымовых газов V_T , м ³ /м ³	11,2037	6,9785
Энтальпия дымовых газов H , кДж/м ³	2241	1486
Изменение потерь с уходящими газами Δq_2 , %	3,717	
Годовая экономия условного топлива, т у. т.	1915,54	
Срок окупаемости, год	1,99	

Также рассмотрим возможность комплексной переработки послеспиртовой барды. Комплексная переработка послеспиртовой барды в БГУ требует особого подхода и выбора характеристик составляющих установки и режима ее работы. Предлагается следующий технологический процесс с разделением реакторов на гидролизный и на реактор анаэробного сбраживания, т. е. двухступенчатый процесс сбраживания, так как послеспиртовая барда быстро расщепляется и склонна к окислению. Разделение позволяет контролировать кислотность барды в реакторе сбраживания и активной жизнедеятельности анаэробных бактерий и в итоге увеличивается выход биогаза, а также повышается содержание белков в готовом кормовом продукте.

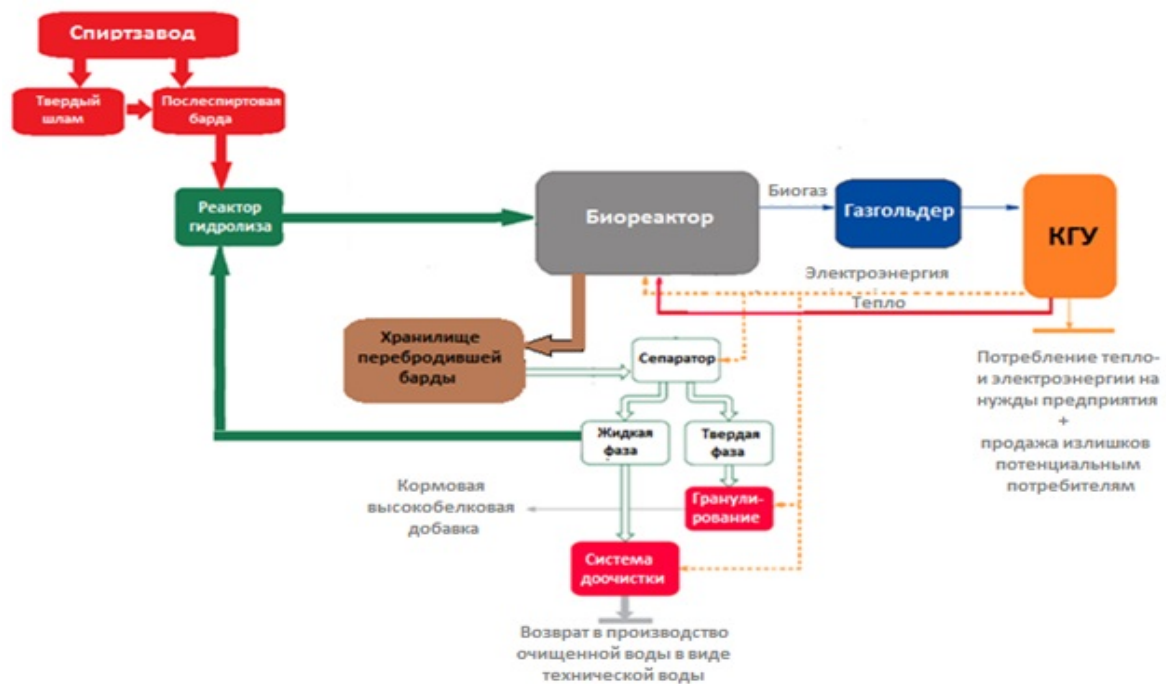


Рис. 1. Технология комплексной переработки послеспиртовой барды

На этапе дистилляции образуется послеспиртовая барда, ее собирают в специальной приемной емкости, куда предлагается добавлять с помощью фронтального погрузчика остатки первичной очистки зерна, что позволит увеличить выход биогаза в связи с большим количеством содержания твердых веществ в субстрате. Следующим этапом является перекачка насосом этой массы в реактор гидролиза, где расположен автоматический уровень, предполагающий определенный объем загрузки субстрата, после достижения которого насос автоматически отключается.

Разделения процесса окисления в реакторе гидролиза и анаэробного сбраживания в ферментаторе позволяет достичь наибольшего выхода биогаза.

В связи с тем что при объединении процессов гидролизной и кислотообразующих фаз с анаэробным сбраживанием, из-за высокой скорости размножения в питательной среде гидролизных бактерий, когда метанобразующие бактерии образуются гораздо медленнее, возможен срыв процесса. Это будет обусловлено тем, что гидролизные бактерии, получая большое количество питательных веществ, вырабатывают такой объем жирных кислот, который анаэробные бактерии не успевают переработать из-за более медленной скорости, что приводит к переокислению в ферментаторе, падению pH и в итоге к срыву всего процесса.

По этой причине реактор гидролиза находится обособленно от реактора-метанообразователя. В реактор гидролиза субстрат поступает один-два раза в сутки при $\text{pH} = 4,5\text{--}6,5$, в нем происходит образование органических жирных кислот в период около одного дня. Сами окисляющие бактерии достаточно выносливые, богатые энергией и, соответственно, активно размножаются, что делает процесс очень быстрым. Дополнительный обогрев данного этапа не нужен, так как температуры поступившей послеспиртовой барды вполне достаточно для соблюдения термофильного режима для кислотообразования.

Далее, окисленная масса насосной станцией направляется в реактор сбраживания для метаногенеза, который происходит под воздействием метанообразующих бактерий и разлагает полученную на этапе гидролиза уксусную кислоту на метан, углекислый газ и воду. В реакторе сбраживания находятся механические погружные мешалки, которые два раза в сутки приводятся в действие, чтобы разрушить плавающую корку на поверхности сбраживаемого субстрата и достигнуть равномерного распределения температуры и кислотности, что положительно сказывается на выходе биогаза.

Биогаз, поступающий через специальный патрубок, собирается в сухом газгольдере низкого давления, который расположен над реактором сбраживания. В случае переполнения газгольдера имеется предохранительный клапан, позволяющий предотвратить разрыв купола и утечку биогаза, который может взорваться или возгореться при контакте с воздухом. С учетом этого фактора необходимо применять автоматические системы управления и защиты технологического процесса (СУЗ), что позволит не только установить оптимальный режим работы всех БГУ поэтапно, но и обеспечит остановку процесса в случае утечки биогаза.

Следующим этапом является направление биогаза в когенерационную установку (КГУ), где происходит выработка электроэнергии генератором, газопоршневые двигатели которого приводятся в движение полученным биогазом. Электроэнергия, полученная на этом этапе, направляется на работу самой БГУ, остатки могут быть направлены для нужд предприятия в целом и на другие его технологические процессы, что позволит экономить на общем потреблении электроэнергии. Тепловая энергия образуется за счет охлаждения когенераторов жидкостью, чаще всего водой, она по итогу может применяться для дополнительного реактора сбраживания в зимний период или как источник тепла непосредственно при производстве спирта. Излишки возможно использовать также на собственные нужды предприятия, либо продавать данную энергию как более дешевый вид топлива, чем природный газ, например.

Из реактора сбраживания через специальный люк выгрузки перебродившая послеспиртовая барда выгружается в хранилище, откуда уже направляется в сепаратор для разделения фаз.

Расчеты показали эффективность строительства биогазовой установки. В настоящее время срок окупаемости составил 1,99 лет. Была рассмотрена всего лишь одна из нескольких схем, можно было рассмотреть схему не только с получением биогаза, но и получением удобрений. Тогда эффект будет больше, но первоначальные затраты на сооружение установки значительно возрастут.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НЕТЯГОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

А. В. Дробов

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Научный руководитель В. Н. Галушко

На железной дороге большое внимание уделяется повышению энергоэффективности всех без исключения процессов генерации, передачи и потребления тепловой и электрической энергии. Однако рациональные подходы при передаче и распределении электроэнергии в собственных сетях железной дороги до сих пор не сформированы, т. е. не разработаны основные направления по снижению потерь энергии в электросетях.

С учетом сложности проблемы ее решение целесообразно рассматривать как систему задач, поэтапно уточняющих и детализирующих решения по развитию систем электроснабжения. Достижение указанных задач невозможно без применения современных информационных технологий, что, в свою очередь, требует создания эффективных математических моделей и методов.

Разработка таких моделей и методов является сложной научно-технической проблемой, так как при учете электромагнитных процессов система нетягового электроснабжения железной дороги переменного тока представляет собой многомерный нелинейный динамический объект.

Ввиду большой размерности, сложности и недостаточной информационной обеспеченности практическое использование динамических моделей систем нетягового электроснабжения на современном этапе не представляется возможным. Поэтому для определения наиболее эффективных вариантов систем электроснабжения применяют имитационное моделирование.

Целью имитационного моделирования (ИМ) является определение варианта организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта с наименьшими приведенными затратами с помощью метода статистических испытаний или метода Монте-Карло на основании матрицы возможных электрических связей между трансформаторными подстанциями. Для N' наиболее эффективных вариантов организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта рассчитывается вероятность безотказной работы. Затем на основании весовых коэффициентов определяется вариант с наименьшими приведенными затратами и наивысшей вероятностью безотказной работы. Также в целевую функцию входит определение варианта организации электроснабжения с наименьшей величиной ТРЭТ.

Имитационная модель электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Алгоритм ИМ электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ УЗЛОВ) основан на поиске варианта организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта с наименьшими приведенными затратами с помощью метода статистических испытаний на основании матрицы возможных электрических связей между трансформаторными подстанциями. Имитационное моделирование УЗЛОВ реализовано в виде веб-приложения, которое не требует установки на компьютер заказчика объемного программного обеспечения, обновление происходит автоматически, обеспечивается высокая мобильность везде, где есть доступ в Интернет.

Алгоритм ИМ узлов предписывает выполнить следующие действия:

Внесение исходных данных:

– координаты точек расположения источника питания (ИП), распределительные устройства трансформаторных подстанций (РУ) и трансформаторные подстанции (ТП) ($x_i, y_i, i = \overline{1, n}$);

– сведения о всех ТП: номер или название ТП; P_p – расчетная активная нагрузка потребителя; $\cos \varphi_p$ – расчетный коэффициент мощности; категории потребителей; T_m – число часов использования максимума нагрузки в год; $U_{ном}$ – напряжение первичной обмотки трансформаторов; k_ϕ – коэффициент формы графика нагрузки участка сети. По умолчанию программа продолжает названия ТП, присваивая подстанции $i + 1$ номер, при этом возможно редактирование [1].

Также реализован расчет для существующей сети, не предполагающий капитальные затраты на сооружение сети ($K = 0$).

Выполняется визуализация расположения ИП и ТП с нанесением координатной сетки, масштабирование координатной сетки до размера окна программы и указание соответствующих текстовых подписей, также выполняется масштабирование изображения ИП, РУ и ТП.

Данная процедура позволяет сформировать матрицу всех возможных соединений между ТП и РУ с учетом ограничений для розыгрыша различных вариантов методом статистических испытаний. Главная диагональ не используется, а выбор ТП или РУ разыгрывается с помощью генератора случайных чисел. Данную матрицу легко редактировать, активируя или убирая соответствующие символы связей между ТП или РУ.

На основании равномерного закона распределения генерируется первый вариант организации электроснабжения. Данный этап предполагает построение сети электроснабжения с использованием процедур определения конечных, промежуточных и узловых ТП, визуализацию реализованного варианта сети с цветовой индикацией соединительных линий между объектами.

Выполняется расчет и выбор сечения проводов кабелей по критерию допустимого нагрева с учетом коэффициентов, учитывающих фактическую температуру земли и воздуха, отличие удельной проводимости земли от принятой в таблицах ПУЭ и количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле. Также указывается экономическая плотность тока и экономическая площадь поперечного сечения жил кабеля.

Имитационная модель электросетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки железнодорожных участков. Алгоритм ИМ сетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки железнодорожных участков (ПЭ) основан на поиске варианта организации электроснабжения с наименьшим технологическим расходом электроэнергии на ее транспортировку (ТРЭТ) с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора электрооборудования. Результаты ИМ ПЭ являются исходными данными, в частности, для правильного выбора головных трансформаторов на трансформаторных подстанциях линий продольного электроснабжения и автоматической блокировки. Имитационное моделирование ПЭ реализовано на объектно-ориентированном языке программирования Delphi.

Визуализируется расстановка потребителей на линии ПЭ или АБ с помощью координатной оси (рис. 1).

Для ограничения несимметрии токов и напряжений выполняется транспозиция: автоматически по заданному шагу транспозиции или вручную, согласно имеющимся

данным, указанием определенной фазы для потребителя. Указывается тип подключения трансформатора – одно- или трехфазное.

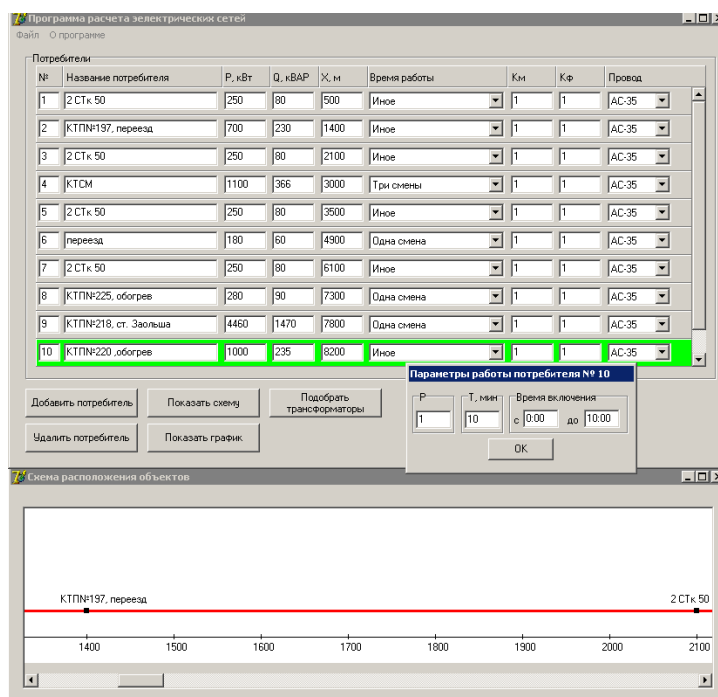


Рис. 1. Пример внесения исходных данных и визуализации расстановки потребителей на линии в программе ИМ ПЭ

Имитационная модель оценки параметров надежности электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ НАДЕЖН) позволяет оценивать вероятность безотказной работы всей системы на основании данных об интенсивностях отказов электрооборудования. Данная программа позволяет рассчитать вероятность безотказной работы ИМ ПЭ и N наиболее эффективных вариантов ИМ УЗЛОВ. На основании полученной информации выявляются наиболее «узкие места» в различных вариантах схем электроснабжения, разрабатываются мероприятия по повышению надежности электроснабжения.

С помощью разработанной программы ИМ УЗЛОВ определяется N наиболее эффективных вариантов организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта с наименьшими приведенными затратами на основании матрицы возможных электрических связей между трансформаторными подстанциями. Имитационное моделирование ПЭ позволяет найти вариант организации электроснабжения с наименьшей величиной ТРЭТ с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора оборудования.

Литература

1. Дробов, А. В. Результаты программы имитационного моделирования нетяговой системы электроснабжения витебской и барановичской дистанции электроснабжения / А. В. Дробов // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – № 4 (13), т. 1. – С. 76–83.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ**

А. В. Дробов

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет
транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель В. Н. Галушко

Любая система электроснабжения представляет собой совокупность из m источников питания и n потребителей, произвольно соединенных между собой. Чаще всего для схемы соединения потребителей с источниками не характерна наивысшая из возможных вероятность безотказной работы и минимальное время восстановления повреждения. Поэтому при проектировании новых систем электроснабжения актуальна задача выбора такой схемы соединения, параметры которой минимизируют экономические потери от unplanned отказов, отличаются наивысшей вероятностью безотказной работы электроснабжения и обеспечивают требуемое техническими параметрами качество энергии.

Поставленная таким образом задача является типичной задачей математического программирования и может быть решена одним из методов поиска экстремальных значений целевой функции. В качестве такого метода можно предложить метод случайного поиска.

Для определения наиболее эффективных вариантов схем электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта разработаны имитационные модели (ИМ), учитывающие приведенные затраты, надежность и качество электроэнергии.

Целью создания ИМ для электрических сетей железнодорожных узлов дистанций электроснабжения с помощью метода статистических испытаний или метода Монте-Карло на основании матрицы возможных электрических связей между трансформаторными подстанциями является определение рационального варианта электрических связей между трансформаторными подстанциями и распределительными устройствами (источниками питания и потребителями).

Имитационное моделирование электрических сетей железнодорожных узлов реализовано в виде web-приложения, которое не требует установки на компьютер заказчика объемного программного обеспечения. Его обновление происходит автоматически, при этом обеспечивается высокая мобильность приложения везде, где есть доступ в интернет. Алгоритм ИМ предписывает последовательно выполнить ряд действий:

Внесение исходных данных. На этом этапе вносятся три параметра:

– координаты точек расположения источника питания (ИП), распределительных устройств трансформаторных подстанций (РУ) и трансформаторных подстанций (ТП) $(x_i, y_i, i = \overline{1, n})$;

– сведения о всех ТП: номер или название ТП; P_p – расчетная активная нагрузка потребителя; $\cos \varphi_p$ – расчетный коэффициент мощности; категории потребителей; T_m – число часов использования максимума нагрузки в год; $U_{ном}$ – напряжение первичной обмотки трансформаторов; k_ϕ – коэффициент формы графика нагрузки участка сети. По умолчанию программа продолжает названия ТП, присваивая подстанции номер $i + 1$, при этом возможно редактирование.

На рис. 1 представлена реализация однолинейной упрощенной схемы электросети для фидера № 502 от ПС «Мясокомбинат» витебской дистанции электроснабжения [1].

Внесите исходные данные

Число генерируемых результатов	Число лучших результатов
1000	1

Учитывать капитальные затраты на строительство

Координаты источника питания

x	y
0	0

Параметры потребителей

№	Название P _p , кВт	T _м , ч cos φ _p	К-во T-ов U _{ном} , кВ	X Y
1	Витебск-Заболотинка	6178,956	1	145
	42,29	0,833958	10	214
2	ГКТП-19	5425,727	1	154
	4,658	0,9496	10	203
3	ТП-17(СШ1)	5426,286	1	208
	99,244	0,9496	10	158

Рис. 1. Пример внесения исходных данных и визуализации в программе ИМ УЗЛОВ

Отображение и заполнение матрицы связи между ТП и РУ. Данная процедура позволяет сформировать матрицу всех возможных соединений между ТП и РУ с учетом ограничений для генерирования различных вариантов методом статистических испытаний. Главная диагональ не используется, а выбор ТП или РУ разыгрывается с помощью генератора случайных чисел. Данную матрицу легко редактировать, активируя или убирая соответствующие символы связей между ТП или РУ.

Web-приложение дает возможность рассчитать кратчайшие расстояния между всеми объектами по формуле $l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$, а также с помощью (визу-

ального, графического?) редактора изменять расстояния в соответствии с существующими ограничениями. При необходимости определения кратчайшего расстояния между объектами с учетом ограничений на местности используется дополнительная программа *LOGR*.

Следующий шаг – выбор трансформаторов ТП и нагрузки на высокой стороне. В первую очередь осуществляется выбор номинальной мощности трансформаторов на основании следующих условий:

– для однострансформаторных подстанций: $S_{н.т} \geq S_p, S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$;

– для двухтрансформаторных подстанций: $2S_{н.т} \geq S_p, 1,4S_{н.т} = S_p - S_{откл}$, ($S_{откл}$ – мощность потребителей III категории, которые могут быть отключены при возникновении аварийного режима).

Таблицы стандартных полных мощностей трансформаторов соответствуют номенклатуре выпускаемых и имеющихся в технологическом запасе отделений дистанций электроснабжения. При необходимости можно изменить значение номинальной мощности трансформатора в таблице текущих результатов расчетов (рис. 3) или пополнить/изменить содержание таблиц стандартных полных мощностей выбираемых трансформаторов.

Затем рассчитываются коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном и аварийном режимах, а также определяются нагрузки ($P_p^{в.н}$, $Q_p^{в.н}$, $S_p^{в.н}$) на высокой стороне за счет потерь в трансформаторах ТП.

Мощности трансформаторов

№	ИП	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВт*А	$S_{н.т}$, кВт*А	$k^{норм}_3$	$k^{ав}_3$
0	Витебск-Заболотинка	42.29	27.98	50.71	63.00	0.80	0.00
1	ГКТП-19	4.66	1.54	4.91	25.00	0.20	0.00
2	ТП-17(СШ1)	99.24	32.76	104.51	160.00	0.65	0.00
3	ГКТП-22	2.10	0.69	2.21	25.00	0.09	0.00
4	ТП-16	34.93	11.52	36.78	40.00	0.92	0.00
5	ТП-11	1.23	0.41	1.30	25.00	0.05	0.00
6	ТП-10(Т1)	45.08	14.87	47.47	63.00	0.75	0.00
7	ТП-10(Т2)	63.07	20.80	66.41	100.00	0.66	0.00
8	ТП-6(СШ2)	111.28	36.73	117.18	160.00	0.73	0.00

Рис. 2. Пример выбора номинальной мощности трансформаторов

Технико-экономический расчет первого варианта организации электроснабжения. Технико-экономический расчет и сохранение результатов первого варианта организации электроснабжения осуществляется по критерию приведенных затрат $Z_1 = p_n K_1 + I_1$ с учетом капитальных затрат на сооружение сети и издержек на эксплуатацию.

Программа ИМ УЗЛОВ может быть использована для разработки наиболее эффективных схем электроснабжения как проектируемых предприятий железнодорожной отрасли, так и существующих, не предполагающих капитальные затраты на сооружение сети ($K = 0$).

Литература

1. Дробов, А. В. Результаты программы имитационного моделирования нетяговой системы электроснабжения витебской и барановичской дистанции электроснабжения / А. В. Дробов // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – № 4 (13), т. 1. – С. 76–83.

ПРОБЛЕМА ВЫСШИХ ГАРМОНИК, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СВАРОЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

М. В. Лукашик

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Н. Колесник

В настоящее время в электрических хозяйствах промышленных предприятий большинство сварочного оборудования выработало свой ресурс или является морально устаревшим и требует замены на современное энергоэффективное. Но, как известно, практически все современное сварочное оборудование имеет в своей конструкции значительно большее количество нелинейных элементов, а следовательно, генераторов высших гармоник. В связи с этим проблема высших гармоник в системе электроснабжения промышленных предприятий является весьма актуальной и заслуживающей внимания.

Сварка плавлением, в особенности электродуговая сварка, является основным технологическим процессом сварочного производства. На многих предприятиях широко применяются установки дуговой и контактной сварки с инверторными и выпрямительными источниками питания. Сварочные выпрямители питаются в основном от сетей 0,38 кВ. Мощность сварочных машин автоматической сварки однофазным током промышленной частоты достигает 1,5 МВА, сварки трехфазной дугой – нескольких мегавольт-ампер. В некоторых цехах машиностроительных предприятий удельный вес сварочных машин в нагрузке может достигать 80 % [1].

Успехи в развитии полупроводниковой техники в начале 50-х гг. позволили перейти к выпуску первых сварочных выпрямителей. С появлением силовых управляемых вентилей – тиристоров – стали выпускаться универсальные выпрямители, а позднее трансформаторы с электрическим фазовым управлением. С начала 80-х гг. в сварочных источниках стали использоваться силовые транзисторы, они предоставляли возможность существенного улучшения таких сварочных свойств, как характер переноса электродного металла, настройка и стабильность параметров режима. На базе управляемых вентилей (тиристоров и транзисторов) были созданы выпрямители с промежуточным высокочастотным звеном – инвертором, что позволило существенно уменьшить их массогабаритные параметры и улучшить динамические свойства источника [2].

С начала 80-х гг. вместе с началом использования силовых транзисторов ученые стали замечать, что сварочные выпрямители оказывают негативное влияние на другое электрооборудование. Один из первых экспериментов по влиянию высших гармоник был проведен в 1984 г.: его целью было установить способствуют ли высшие гармоники ускоренному старению изоляции проводов и кабелей. Для выяснения этого положения учеными были проведены замеры токов утечки кабелей, проложен-

ных почти одновременно и работающих в сходных температурных условиях; часть обследованных кабелей работала при практически синусоидальном напряжении, другая – при уровне высших гармоник в кривой напряжения в пределах 6–8,5 %, с преобладанием 5 и 7-й гармоник, кабели питали группу вентиляльных преобразователей. Токи утечки во втором случае через 2,5 года эксплуатации оказались в среднем на 36 %, через 3,5 года – на 43 % больше, чем в первом [3].

Для установок электродуговой сварки в качестве источника питания используются полупроводниковые выпрямители. Токи высших гармоник, генерируемые сварочными выпрямителями, различны для отдельных режимов работы сварочных установок.

В зависимости от нагрузки выпрямитель может работать в одном из трех режимов: в режиме прерывистых токов при малых нагрузках, которому соответствует двухвентильная коммутация А; в режиме средних нагрузок В; в режиме трехвентильной коммутации при больших нагрузках С.

Режим А практического значения не имеет. В режиме В уровни 5 и 7-й гармоник тока оказываются весьма нестабильными. Уровень высших гармоник тока в режиме С значительно ниже, чем в режиме В.

По своему воздействию на несинусоидальность питающей сети сварочные нагрузки можно разделить на две категории: установки дуговой и контактной электросварки переменного тока, установки дуговой электросварки постоянного тока. Установки дуговой электросварки переменного тока воздействуют на питающую сеть аналогично дуговым сталеплавильным печам. Включение сварочных машин контактной электросварки производится с помощью игнитронных или тиристорных ключей, которые для плавного регулирования сварочного тока снабжаются системами фазового регулирования угла зажигания, что приводит к искажению тока высшими гармониками, уровень которых аналогичен уровню гармоник для дуговой сварки переменного тока.

В последнее десятилетие все промышленно развитые страны стали уделять особое внимание энергосберегающим технологиям и качеству электроэнергии электрических сетей. Вызвано это тем, что в начале 90-х гг. они столкнулись с проблемой постоянного ухудшения качества электроэнергии питающих сетей, заключающейся в искажении синусоидальной формы напряжения и тока. Это незамедлительно привело к повышению потерь и понижению надежности эксплуатации электрооборудования. Такое явление вызвано увеличением количества оборудования с нелинейными трехфазными и однофазными нагрузками, которые генерируют в электрическую сеть высшие гармоники тока.

Однофазные импульсные источники питания с бестрансформаторным входом, выпрямители, инверторы, частотно-управляемые электроприводы, компьютерные системы, телекоммуникационная и офисная аппаратура, энергосберегающие лампы и другие однофазные нелинейные нагрузки из-за своей массовости привели к увеличению коэффициента нелинейных искажений (гармоник) тока THDi (Total Harmonic Current Distortion) до 90–140 %, особенно за счет генерации в сеть 3-й и кратных ей гармоник тока до 80 % (токи нулевой последовательности). Высшие гармоники тока увеличивают коэффициент нелинейных искажений напряжения THDU (Total Harmonic Voltage Distortion) сетей, доводя его до 7 % и выше.

Нелинейные нагрузки ухудшают электромагнитную совместимость, что приводит к ненадежной работе электрического и электронного оборудования, ускоренному старению изоляции, коррозии элементов заземлений, перегреву роторов и износу подшипников электродвигателей. За счет преобладания в сети 3-й и кратных ей гармоник может возникать реверсное вращение асинхронных электродвигателей и под-

горание изоляции нулевых проводов при превышении тока в нулевом проводе выше проектного уровня.

Приемлемые значения коэффициента THDU ограничены 3 % для индивидуальных нелинейных нагрузок. Допустимое значение определено 5 % для совокупных нагрузок сети. Отечественные нормативные документы допускают значение THDU до 8 %, при котором уже существенно искажается синусоидальное напряжения сети.

Значение коэффициента нелинейных искажений тока THDi при работе однофазных сварочных источников питания лежит в диапазоне 8,7–121,5, а напряжения THDU – 2,2–6,7 %, что свидетельствует о плохой электромагнитной совместимости большинства однофазных сварочных источников питания. Особенно опасна генерация 3-й и кратных ей гармоник тока.

Коэффициент, учитывающий увеличение добавочных потерь от вихревых токов в оборудовании и сетях, – K-фактор – равен 1,38–7,3 %, что не позволяет отнести все однофазные сварочные источники питания к категории энергосберегающих.

Наиболее широкий спектр высших гармоник тока генерируют однофазные сварочные инверторы, которые более всего искажают синусоидальную форму тока и напряжения сети, что требует обязательного применения фильтров высших гармоник тока.

Совместно с однофазными источниками питания сварочной дуги целесообразно применение фильтров высших гармоник тока и фильтров токов нулевой последовательности, которые снижают коэффициент нелинейных искажений тока до значений 5–15 %. Для инверторных источников и трансформаторных источников, в которых регулирование тока осуществляется тиристорами, применение фильтров необходимо. Для ряда источников питания целесообразно использование устройств компенсации реактивной мощности.

Установлено, что однофазные трансформаторные источники питания, в которых регулирование сварочного тока осуществляется самим трансформатором (без электронного регулирования тока), помимо своей технологичности, надежности и небольшой стоимости, оказывают наименьшее влияние на сеть.

Трансформаторные источники питания сварочной дуги обладают многими положительными свойствами, в частности хорошей электромагнитной совместимостью, и по праву занимают свое место на рынке сварочного оборудования. Поэтому создание источников питания сварочной дуги на основе трансформаторов необходимо развивать и совершенствовать, например, используя конденсаторные умножители напряжения, устройства стабилизации горения сварочной дуги или индуктивно-емкостную цепь.

Однофазные сварочные источники питания, в которых применяется электрическая дуга, являющаяся нелинейной нагрузкой, сварочные выпрямители и инверторы также являются генераторами высших гармоник (ВГ) тока. В связи с этим актуально уменьшение уровня гармоник тока при работе сварочного оборудования, особенно при продвижении отечественных сварочных технологий и оборудования в промышленно развитые страны [4].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что проблема высших гармоник, генерируемых сварочным оборудованием, весьма актуальна, так как на промышленных предприятиях присутствуют цеха с долей сварочной нагрузки более 50 % (например, корпус сварки и окраски ОАО «Гомсельмаш»), которые могут вносить существенный вклад в искажение кривой напряжения и тока, а также влиять на электромагнитную совместимость в целом. Поэтому в рамках данной работы планируется получить экспериментальные данные о гармониках, генерируемых различ-

ным сварочным оборудованием (контактная и дуговая сварка, сварочные инверторы) на промышленных предприятиях и выделить источники питания, которые вносят наибольший вклад в искажение питающих кривых.

Литература

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Милютин, В. С. Источники питания для сварки / В. С. Милютин, М. П. Шалимов, С. М. Шанчуров. – М. : Айрис-пресс, 2007. – 376 с.
3. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
4. Электромагнитная совместимость источников питания сварочной дуги / И. В. Пентегов [и др.] // Электротехника и Электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 34–40.

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В. В. Горицкий

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алферова

Современные системы управления электроприводами используют преобразовательные установки, вентильные и частотно-управляемые двигатели. При этом в токе и напряжении в цепи питания двигателей содержатся высшие гармонические составляющие. Они образуют в системе прямую (1, 4, 7-я и т. д.), обратную (2, 5, 8-я и т. д.) и нулевую (гармоники кратные трем) последовательности. Суммируясь с основной гармоникой, высшие гармоники вызывают повышение действующего значения напряжения на зажимах электроприемников.

Отрицательное воздействие высших гармоник на показатели работы асинхронных двигателей (АД) заключается в том, что они помимо изменения механических характеристик вызывают дополнительные потери. Принято считать, что механические характеристики (коэффициент мощности, вращающий момент) даже при увеличении коэффициента искажения формы кривой напряжения до 10–15 % изменяются незначительно [1]. Однако распределение потерь в АД при этом характеризуется следующими показателями [2]: обмотки статора – 14 %; цепь ротора – 41 %; торцевые зоны – 19 %; асимметричные пульсации – 26 %.

Из приведенных данных видно, что наиболее уязвимой частью является цепь ротора, т. е. от высших гармоник в большей степени перегревается ротор.

Влияние высших гармоник (ВГ) на механические характеристики АД заключается в появлении в статоре движущих сил, создающих на валу вращающие моменты в направлении вращения ротора или в обратном направлении в зависимости от номера гармоники [3]. Результирующий момент на валу АД при этом определяется суммой моментов от всех гармоник по всей характеристике.

Гармоники напряжения и тока приводят к дополнительным потерям в обмотках статора, в цепях ротора, а также в стали статора и ротора. Потери в проводниках статора и ротора при этом больше, чем определяемые омическим сопротивлением из-за вихревых токов и поверхностного эффекта. Токи утечки, вызываемые гармониками в торцевых зонах статора и ротора, приводят к дополнительным потерям. В случае АД со скошенными пазами и пульсирующими магнитными потоками в статоре и роторе высшие гармоники вызывают дополнительные потери в стали. Значение этих потерь зависит от угла скоса пазов и характеристик магнитопровода.

Ток гармоники в статоре машины вызывает движущую силу, приводящую к появлению на валу вращающихся моментов в направлении вращения магнитного поля гармоники. Поэтому вращающиеся моменты, создаваемые гармониками, образующими прямую последовательность, совпадают с направлением вращения ротора, а образующими обратную последовательность направлены противоположно. Вращающиеся моменты, создаваемые гармониками, весьма малы, кроме того, они частично компенсируются вследствие различного направления, поэтому влияние их на средний момент пренебрежимо мало. Вместе с тем они могут привести к значительным вибрациям вала.

Влияние формы кривой напряжения на потери в АД показано в [4] на примере двигателя мощностью 16 кВт, работающего с полной нагрузкой при частоте сети 60 Гц и номинальном напряжении. При синусоидальной форме кривой напряжения полные потери составили 1,303 кВт, а при квазипрямоугольной форме – 1,6 кВт. Следует отметить, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения при квазипрямоугольной форме составляет примерно 100 %, что является недопустимым в системах электроснабжения общего назначения в соответствии с ГОСТ 32144.

Известно [5], что на промышленных предприятиях перегрев асинхронных двигателей в сетях с большим уровнем высших гармоник (с коэффициентом искажения синусоидальности напряжения в 10–15 %) не наблюдается ни при номинальной нагрузке, ни при нагрузке меньше номинальной.

Воздействие ВГ на вращающиеся машины во многом идентично воздействию несимметрии напряжений и токов. Они вызывают дополнительные потери в обмотке и стали статора. Кроме того, присутствие в кривой тока статора ВГ приводит к появлению в зазоре несинхронных магнитных полей, перемещающихся относительно ротора. При этом ВГ 5 и 11-го порядков создают поля обратной последовательности, вращающиеся относительно ротора в противоположном направлении, а составляющие 7 и 13-го порядков создают поля прямой последовательности. Однако, поскольку частота их вращения выше частоты вращения ротора с кратностью порядка гармоники, поля обеих последовательностей наводят на контурах ротора токи повышенной частоты, которые протекают в верхних слоях массивных частей ротора и, замыкаясь по его торцам, вызывают местные перегревы [6].

Частотный привод является одним из распространенных типов регулируемого электропривода. Регулирование частоты вращения в этом случае осуществляется при помощи тиристорных преобразователей частоты, которые могут быть выполнены в виде автономных инверторов, осуществляющих преобразование постоянного тока в переменный, и преобразователей с непосредственной связью, преобразующих переменный ток одной частоты в ток другой частоты посредством переключения встречно-параллельно соединенных силовых вентилей [5].

Преобразователи частоты имеют контур обратной связи постоянного тока с входным преобразователем на стороне питания и выходной преобразователь (обычно функционирующий как инвертор) на стороне нагрузки. И в конфигурации преобразования напряжения и тока контур постоянного тока имеет фильтр, который развязывает ток или напряжение по питанию от выходного. Но, поскольку идеальных фильтров просто не существует, все равно некая связь остается. В результате компоненты тока, связанные с нагрузкой, присутствуют и в связующей цепи постоянного тока и, соответственно, передаются на сторону питания. Эти компоненты по отношению в основной частоте являются субгармониками и интергармониками [7].

Гармонические искажения создаются самим преобразователем частоты ввиду особенностей его конструкции и принципа действия. Выпрямитель преобразователя частоты создает пульсирующее напряжение постоянного тока. При каждом пике

этого напряжения происходит заряд конденсатора в промежуточной цепи постоянного тока. Во время заряда этого конденсатора возникают входные токи со сравнительно большой амплитудой. Ввиду такой несинусоидальной нагрузки происходит искажение синусоиды напряжения питания, причем степень искажения зависит как от величины токовой нагрузки, так и от импеданса сети. Возникающие при этом помехи сети питания представляют собой высокочастотные составляющие – гармоник (обычно 3, 5, 7 и 9-я гармоники) основной частоты питающего напряжения (50 Гц).

Асинхронные электродвигатели, на которых установлены преобразователи частоты, также могут быть источником интергармоник из-за щелей между металлом в роторе и статоре, особенно при насыщении магнитного контура (так называемые щелевые гармоники). При постоянной скорости вращения частоты возмущающих компонентов обычно находятся в пределах 500–2000 Гц, но в период пуска и разгона двигателя их значения могут быть шире. Естественные элементы асимметрии конструкции электропривода (отклонения от детальных чертежных геометрических размеров, несоосность, например) могут также являться причиной возникновения интергармоник (рис. 1).

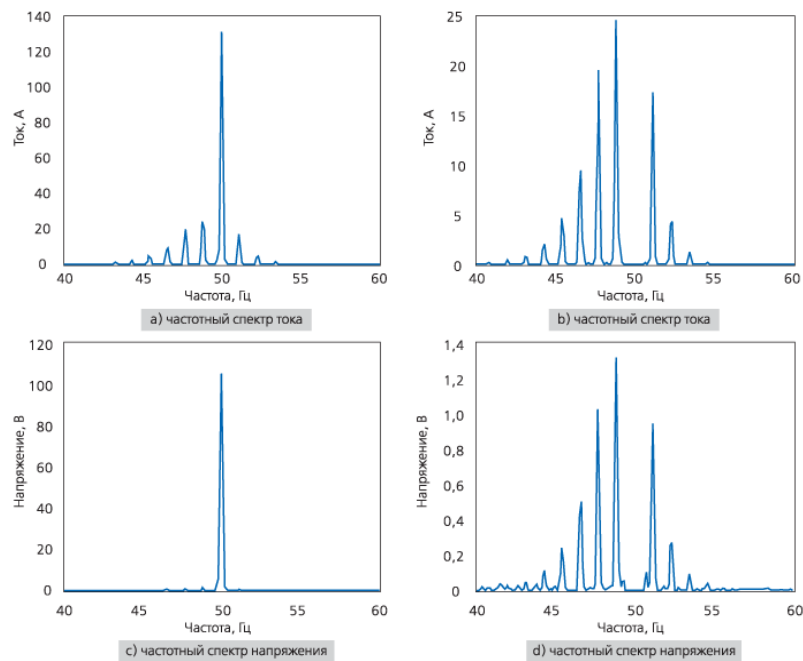


Рис. 1. Результаты спектроизмерения фаз тока и напряжения электродвигателя на его разьемах: *a, c* – полный спектр; *b, d* – спектр с исключенной основной частотой

Таким образом, проблема влияния высших гармонических составляющих на работу АД весьма актуальна. Поэтому в данной работе планируется получить экспериментальные данные и оценить степень влияния высших гармоник на вибрацию асинхронного двигателя.

Литература

1. Управление качеством электроэнергии / И. И. Карташев [и др.] ; под ред. Ю. В. Шарова. – М. : Издат. дом. МЭИ, 2008. – 354 с.
2. Донской, Н. В. Асинхронный двигатель в системах автоматического управления / Н. В. Донской. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. – 284 с.

3. Немцев, Г. А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей / Г. А. Немцев, Е. А. Селезнев, Л. А. Шестакова // Вестн. Чуваш. ун-та. – 2014. – № 2. – С. 46–51.
4. Klingshirn, E. A. Polyphase induction motor performance and losses on non-sinusoidal voltage sources / E. A. Klingshirn, H. E. Jordan // IEEE Trans. – 1968. – Vol. PAS-87. – P. 624–631.
5. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий / И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
6. Шидловский, А. К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин. – Киев : Наукова думка, 2005. – 209 с.
7. Интергармоники (Interharmonics) / Збигнев Ханзелка, Анжей Бьень. – 2005. – Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3107. – Дата доступа: 11.03.2017.

ВЛИЯНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ И СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Д. О. Широкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алферова

Целью исследования является определение влияния коммутационных импульсов напряжения на люминесцентные и светодиодные источники света.

Моделирование влияния коммутационных импульсов напряжения на люминесцентные и светодиодные источники света выполнялось с помощью имитатора сетевых импульсных помех (ИСИП), изготовленного по схеме, представленной в [1].

Регистрация мгновенных значений напряжений и токов люминесцентных и светодиодных источников света при моделировании коммутационных импульсов напряжения в цепи их питания производилась с помощью комплекса регистрации параметров электрических сигналов (КРПЭС).

Схема исследования влияния коммутационных импульсов напряжения на люминесцентные и светодиодные источники света, представленная на рис. 1, содержит: ИСИП – имитатор сетевых импульсных помех; ТТ – измерительный трансформатор тока; ИПТ – измерительный преобразователь тока; ИПН – измерительный преобразователь напряжения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

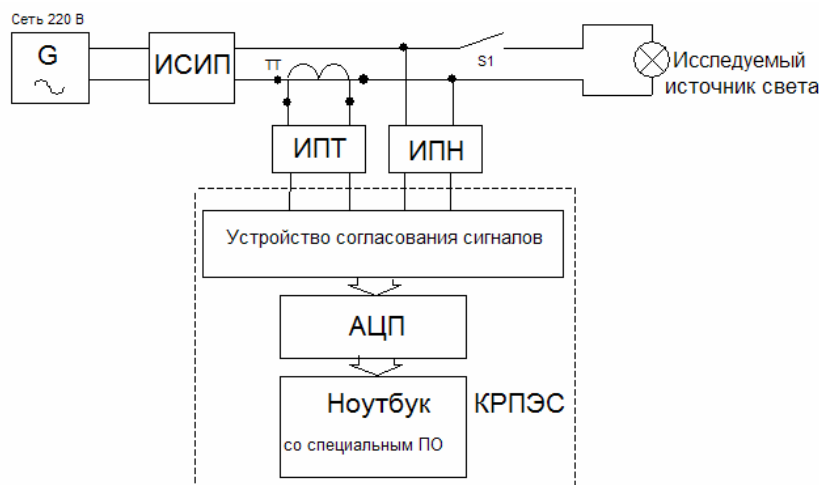


Рис. 1. Схема исследования влияния коммутационных импульсов напряжения на люминесцентные и светодиодные источники света

Объектами исследования влияния коммутационных импульсов напряжения являлись компактная люминесцентная лампа Osram duluxstar 8W и светодиодный светильник ИКАР 03.

С помощью имитатора сетевых импульсных помех в цепь питания люминесцентной лампы Osram duluxstar 8W и светодиодного светильника ИКАР 03 подавались однократные, многократные одиночные и серийные коммутационные импульсы длительностью $\Delta_{\text{имп}0,5}$ до 2 мс и импульсным напряжением $U_{\text{имп}}$ до 0,6 кВ. Осциллограммы напряжения и тока при коммутационных импульсах напряжения по цепи питания лампы Osram duluxstar 8W представлены на рис. 2, светодиодного светильника ИКАР 03 – на рис. 3.

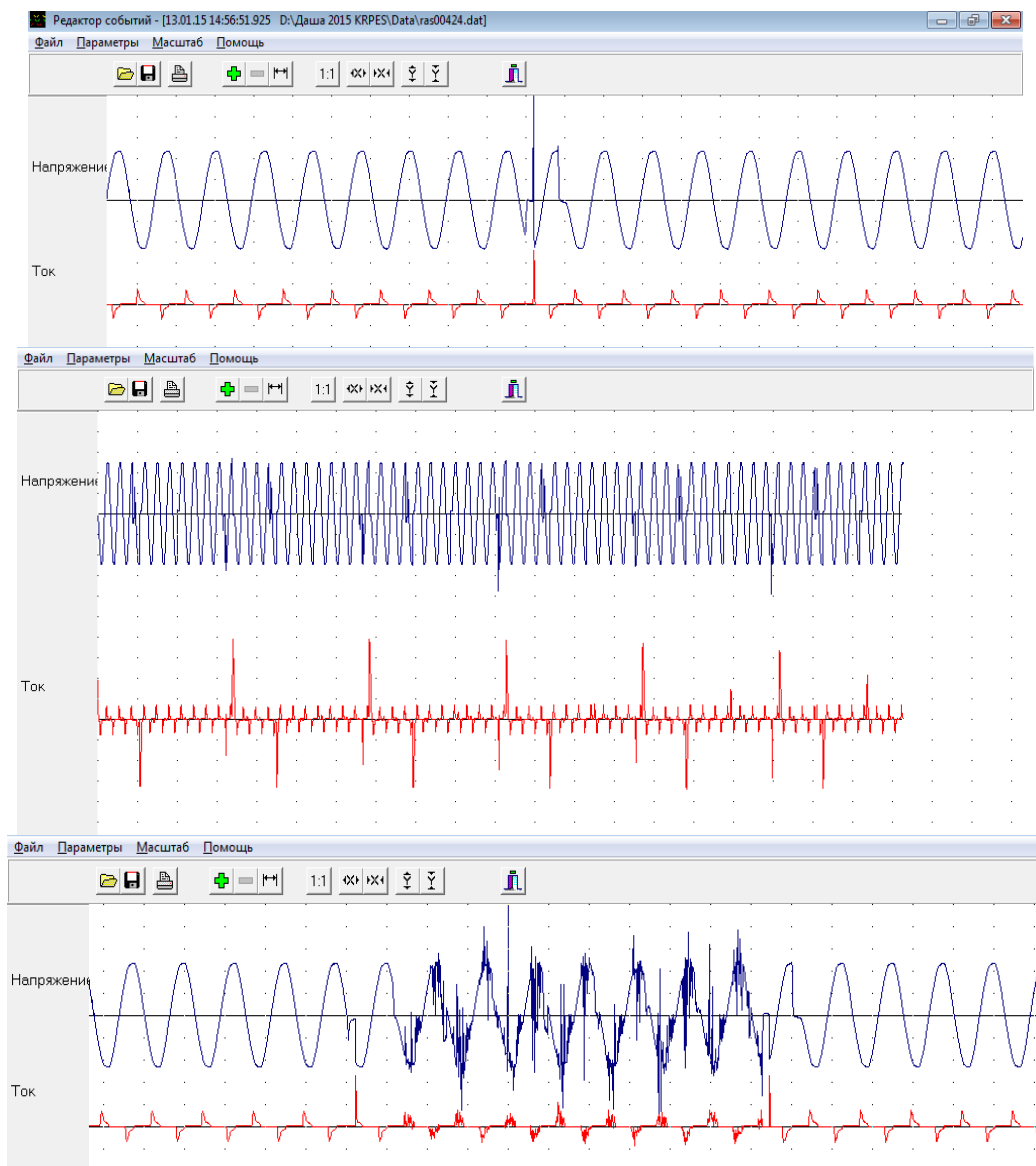


Рис. 2. Коммутационные импульсы напряжения на выводах люминесцентной лампы Osram duluxstar 8W

Определено, что при воздействии на лампу Osram duluxstar 8W и светодиодный светильник ИКАР 03 однократных, многократных одиночных и серийных коммута-

ционных импульсов с $U_{\text{имп}}$ до 0,6 кВ работоспособность указанных источников света соответствует критерию качества функционирования S [2], при этом погасания ламп не происходило.

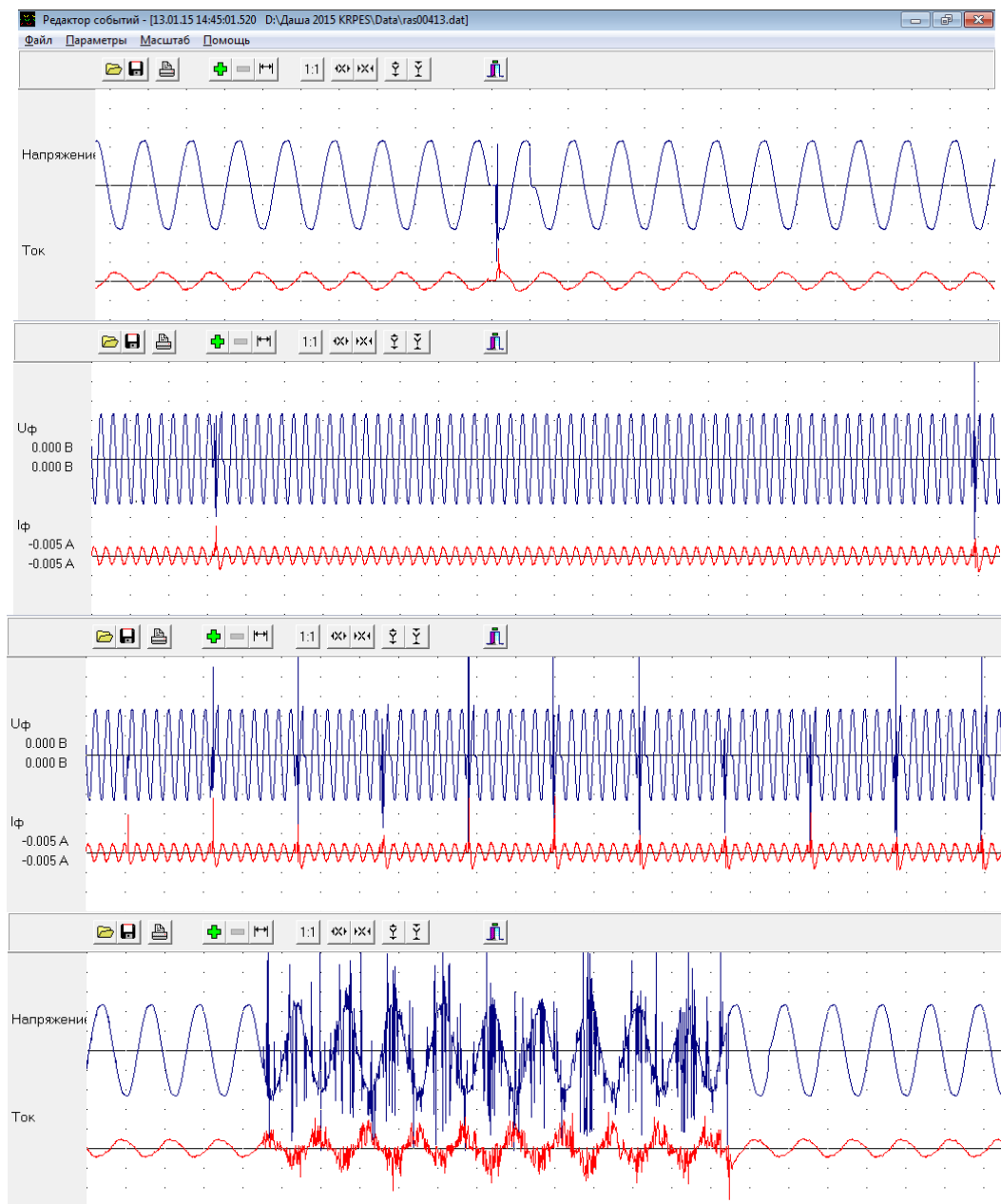


Рис. 3. Коммутационные импульсы напряжения на выводах светодиодного светильника ИКАР 03

Литература

1. Озолин, М. Имитатор сетевых импульсных помех / М. Озолин // Радио. – 2006. – № 4. – С. 22.
2. ГОСТ 30883–2002 (МЭК 61547:1995) Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость светового оборудования общего назначения. Требования и методы испытаний.

МЕТОДИКА ПРОИЗВОДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ САНИТАРНЫХ ПРАВИЛ

Р. Д. Ядров

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Л. И. Евминов

Для измерения напряженности переменных электрических полей при аттестации рабочих мест по условиям труда при производственном контроле, при гигиенической оценке безопасности производственного оборудования и бытовой техники, безопасности производственных зон и рабочих мест, селитебных территорий, жилых и производственных помещений будет применяться прибор ИЭП-05.

В качестве датчиков переменного электрического поля используются дипольная антенна и дисковый пробник.

Прибор осуществляет прямые измерения напряженности электрических полей в реальном масштабе времени. Соответственно, он может быть использован для электромагнитного мониторинга, контроля пространственного распределения полей и динамики изменения этих полей во времени.

Прибор соответствует общим техническим требованиям на измерители напряженности электрических и магнитных полей, предназначенные для контроля норм по электромагнитной безопасности в области охраны природы, безопасности труда и населения.

Принцип работы измерителя электрического поля ИЭП-05 заключается в преобразовании энергии электромагнитного поля с помощью антенны в напряжение, пропорциональное напряженности этого поля. В тракте обработки прибора принятый сигнал усиливается, детектируется и обрабатывается. Значение напряженности электрического поля после аналого-цифрового преобразования сигнала индицируется на жидкокристаллическом индикаторе в В/м.

Измеритель электрического поля ИЭП-05 состоит из индикаторного блока в пластмассовом корпусе, двух датчиков переменного электрического поля (дипольной антенны и дискового пробника) и делителя 1 : 10 (или режекторного фильтра РФ и делителя 1 : 10). Делитель используется при измерении значений напряженности электрического поля до 1990 В/м в полосе 1 и до 199 В/м в полосе 2. Режекторный фильтр используется для измерения электрического поля в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц в режиме измерения с вырезанной полосой частот 45–55 Гц. Соединение датчиков и делителя с индикаторным блоком – разъемное. На дисковом пробнике закреплен провод заземления, который заканчивается разъемом типа «крокодил» для подключения к общей шине заземления помещения. Электропитание прибора может осуществляться как от любых аккумуляторов или батарей (типа «Корунд») напряжением 9 В, так и от внешнего сетевого источника постоянного тока. Батареи размещаются под задней крышкой индикаторного блока. Внешний источник питания подключается с помощью разъема на боковой стенке индикаторного блока.

Методика производства измерений напряженности электрического поля

Измерение напряженности электрического поля в диапазоне частот 5 Гц–400 кГц:

А. Подсоединить антенну дипольную к разъему на торцевой стенке индикаторного блока.

Б. Выбрать полосу частот, установив в соответствующее положение кнопочный переключатель диапазонов на передней панели индикаторного блока.

В. Включить прибор.

1-й способ. Установить антенну прибора так, чтобы точка пересечения оси симметрии антенны с измерительной осью, проходящей через центры диполей, совпала с выбранной (измеряемой) точкой пространства. Сориентировать антенну в данной точке по максимуму показаний прибора. На индикаторе прибора отобразится значение вектора измеряемого параметра $E_{\text{инд}}$. Считать измеренное значение.

2-й способ. Для определения вектора напряженности электрического поля в выбранной точке пространства нужно измерить три взаимно ортогональные составляющие этого вектора $E_{\text{инд}X}$, $E_{\text{инд}Y}$, $E_{\text{инд}Z}$. Установить антенну прибора так, чтобы ее измерительная ось совпала с одной из ортогональных осей координат X , Y , Z , а точка пересечения измерительной оси с осью симметрии антенны совпала с выбранной (измеряемой) точкой пространства. Считать измеренные значения $E_{\text{инд}}$ (X , Y , Z). Определить значение вектора напряженности электрического поля $E_{\text{инд}}$ по формуле

$$E_{\text{инд}} = \sqrt{E_{\text{инд}X}^2 + E_{\text{инд}Y}^2 + E_{\text{инд}Z}^2}.$$

Измерение напряженности электрического поля от экрана видеомонитора компьютера в диапазоне частот 5 Гц–400 кГц:

А. Подсоединить дисковый пробник к разъему на торцевой стенке индикаторного блока.

Б. Заземлить дисковый пробник с помощью заземляющего провода, закрепленного на нем.

В. Выбрать полосу частот, установив в соответствующее положение кнопочный переключатель диапазонов на передней панели индикаторного блока.

Г. Установить прибор таким образом, чтобы он был направлен дисковым пробником в сторону тестируемого технического средства, а центр дискового пробника находился в выбранной точке пространства.

Д. Включить прибор.

Е. На индикаторе прибора отобразится значение измеряемого параметра $E_{\text{инд}}$. Считать измеренное значение. Представлены результаты исследования уровней ЭМП вблизи ЛЭП различного класса напряжения, при линейном расположении трассы и в случае ее поворота:

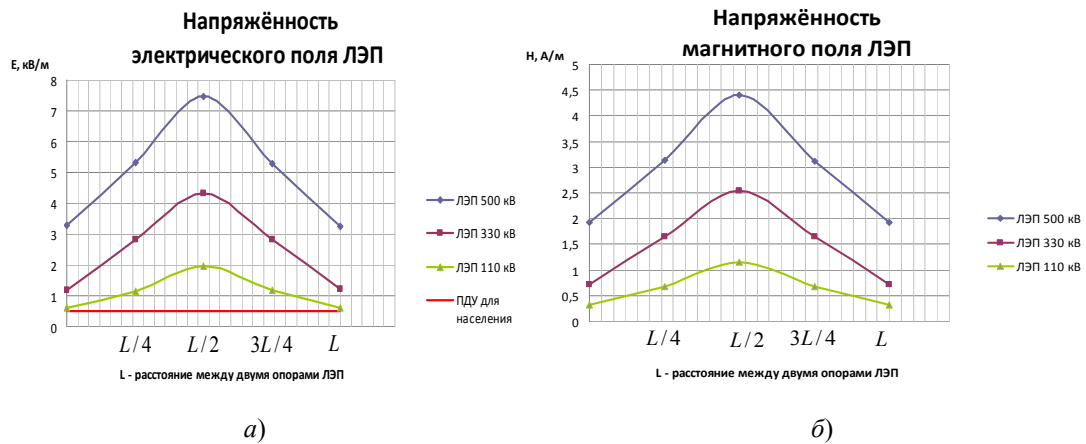


Рис. 1. Напряжённость поля вдоль пролета трассы ЛЭП: а – электрического; б – магнитного

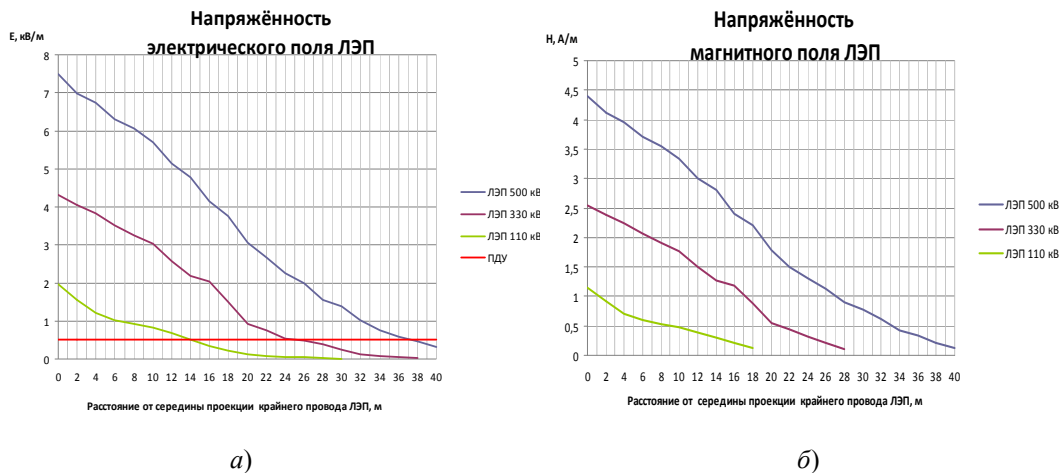


Рис. 2. Напряжённость поля при линейном расположении трассы ЛЭП:
 а – электрического; б – магнитного

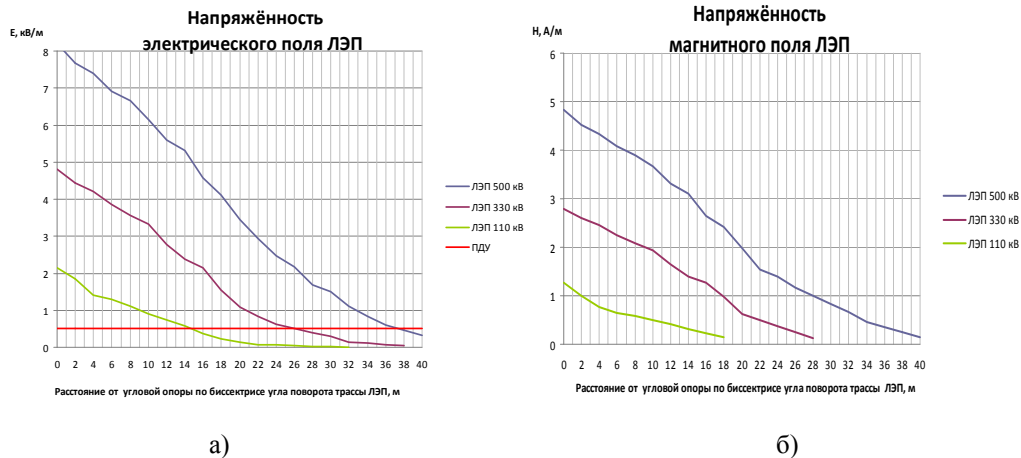


Рис. 3. Напряжённость поля при повороте трассы ЛЭП:
 а – электрического; б – магнитного

Предельно допустимый уровень напряженности электрического поля для населения составляет 0,5 кВ/м, для зоны жилой застройки – 1 кВ/м. По данным проведенных измерений выявлено, что на границе установленных СЗЗ уровень напряженности электрического поля не превышает предельно допустимой величины для зоны жилой застройки, но в то же время напряженность электрического поля становится ниже допустимой для населения величины на расстоянии 6 м от границы СЗЗ для ЛЭП 220 кВ, 8 м – для ЛЭП 330 кВ.

СХЕМЫ ФОРСИРОВКИ ПОСТОЯННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ В МАЯТНИКЕ ФУКО

Е. И. Соколовский, А. Ю. Жура

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. В. Брель

В работе маятника Фуко участвует схема управления, которая обеспечивает питанием силовой электромагнит [1]. Она должна быть компактна, проста, надежна и,

кроме того, должна обеспечивать необходимое усилие для поддержания колебаний маятника Фуко.

Различают конструкции силового электромагнита с электромагнитами постоянного и переменного тока [1], [2].

С точки зрения минимума комплектующих элементов силовой электромагнит должен совпадать по роду тока с питающей сетью. Однако электромагниты переменного тока не получили широкого распространения из-за:

- большой кратности пускового тока по отношению к номинальному (при притянута якоря), ограничивающей допустимое число включений в час;
- сложности технологии изготовления шихтованного магнитопровода;
- недопустимой в ряде случаев пульсации силы электромагнитного притяжения.

Электромагниты постоянного тока лишены перечисленных недостатков, однако и они не нашли широкого применения из-за значительных потерь энергии, достаточно больших габаритов, массы и невысокого быстродействия [1], [2].

Одним из путей, ведущих к значительному увеличению начального тягового усилия, уменьшению потребляемой энергии, а также массы и объема активных материалов (меди и стали) электромагнитов постоянного тока, как известно, является использование специальных схем форсировки пускового тока [3], [4].

Использование специальных схем форсировки пускового тока позволяет на короткий промежуток времени создать большой магнитный поток и существенно увеличить тяговое усилие в электромагните.

Способ построения форсирующих схем управления осуществляется путем переключения напряжения, приложенного к катушке электромагнита, с более высокого на более низкое.

На рис. 1 представлена схема управления, которая использует источник постоянного (выпрямленного) напряжения. Работа схемы заключается в переключении катушек электромагнита с параллельного на последовательное соединение с помощью транзисторного ключа [5]. Недостатками схемы является использование мощных и высоковольтных транзисторов, что делает схему дорогой.

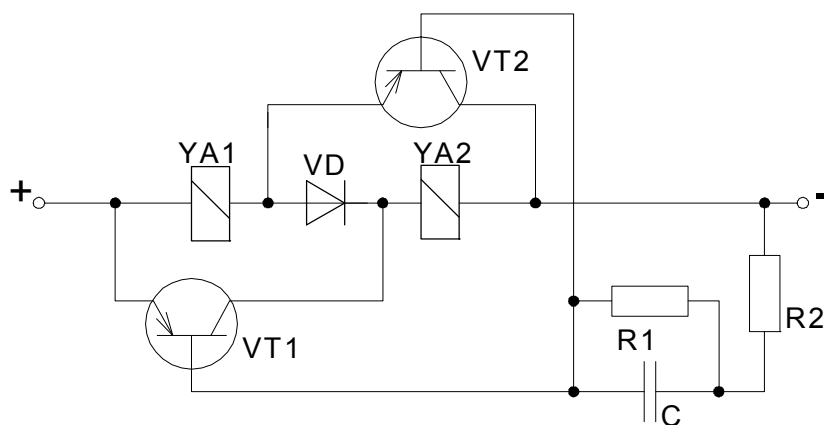


Рис. 1. Схема управления на транзисторах

В однообмоточном электромагните уменьшение величины подводимой мощности происходит за счет уменьшения величины напряжения, прикладываемого к обмотке. Такое уменьшение напряжения часто связано с использованием токоограничивающего элемента.

В качестве токоограничивающего элемента может использоваться конденсатор, при этом в нем отсутствуют активные потери.

Существенному снижению емкости и габаритов токоограничивающего конденсатора способствует применение схемы форсировки электромагнита, представленной на рис. 2. В момент пуска электродвигателя конденсатор C шунтируется тиристором VS , происходит форсировка электромагнита. Дополнительный диод $VD2$ необходим для того, чтобы конденсатор не разряжался на тиристор. Недостатком схемы является однополупериодное выпрямление, что приводит к большему времени срабатывания электромагнита, дополнительным потерям мощности в номинальном режиме и повышенным пульсациям МДС в электромагните.

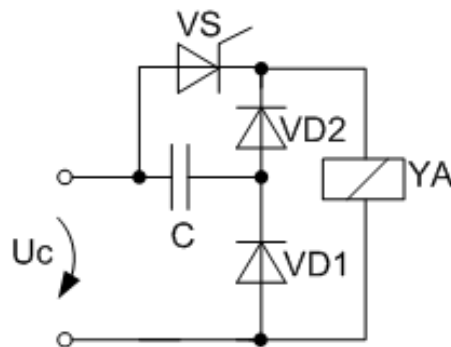


Рис. 2. Схема форсировки электромагнита с шунтирующим конденсатором

На рис. 3 авторами предлагается двухполупериодная схема форсировки, которая обладает большим быстродействием по сравнению со схемой на рис. 2. Емкость и габариты конденсатора в этой схеме в половину меньше, чем в однополупериодной, соответственно, схема является более компактной и предпочтительной по сравнению с выше приведенными схемами.

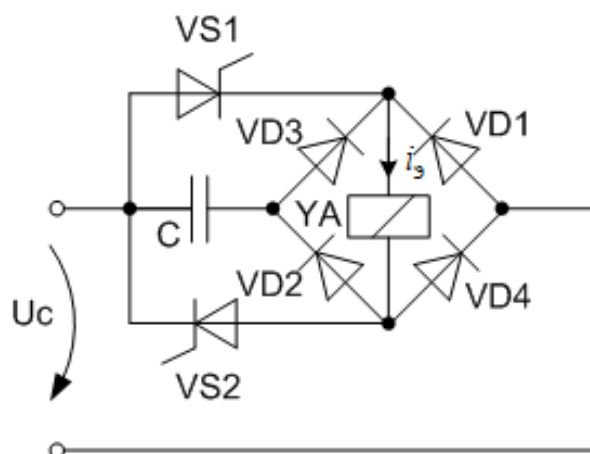


Рис. 3. Двухполупериодная схема форсировки

На кафедре «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого были экспериментально подтверждены полученные результаты, представленные в статье.

Литература

1. Priest, J. The driving mechanism for a Foucault pendulum (revisited) / J. Priest, M. Pechan. – Am. J. Phys. 76, 188–188 (2008).
2. Foucault pendulum with eddy-current damping of the elliptical motion / G. Mastner [et al]. – Rev. Sci. Inst. 55, 1533–1538 (1984).
3. Соленков, В. В. Асинхронные двигатели с электромеханическими тормозными устройствами / В. В. Соленков, В. В. Брель // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. объединений СНГ. Энергетика. – 2004. – № 4. – С. 28–32.
4. Клименко, Б. В. Форсированные электромагнитные системы / Б. В. Клименко. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 160 с.
5. Гринберг, В. С. Выбор схемы форсировки электромагнита для тормозных электродвигателей / В. С. Гринберг, Э. М. Гусельников, В. В. Соленков // Конструирование и надежность электрических машин. – Томск, 1978. – С. 17–21.

**СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ВАГОННОМ ХОЗЯЙСТВЕ****Н. С. Бирилло***Учреждение образования «Белорусский государственный университет
транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель В. Ф. Разон

Железнодорожный транспорт является одним из крупнейших потребителей энергоресурсов в нашей стране, расходуя около 5 % электроэнергии и почти 11 % дизельного топлива. В современных условиях его энергетическая эффективность является важнейшим фактором повышения конкурентоспособности белорусских железных дорог на внутреннем и международном рынках транспортных услуг.

Белорусская железная дорога (БЖД) является пионером в освоении многих энергосберегающих технологий, часть из которых нашла применение в других отраслях промышленности и в быту. Среди таких технологий светодиодное освещение, которое сегодня повсеместно применяется при освещении депо, железнодорожных станций, вокзалов, в пассажирских вагонах и системах железнодорожной сигнализации. Применение светодиодных источников света позволяет экономить до 40 % электроэнергии по сравнению с люминесцентными лампами, а при наличии интеллектуальных систем управления – дополнительно еще до 30 %.

Нельзя экономить то, что не учтено. Поэтому большое внимание БЖД уделяет автоматизации учета энергоресурсов и развитию информационных технологий мониторинга, их использованию для решения задач по оперативному управлению энергопотреблением.

Снижение расхода энергии посредством совершенствования технологических процессов и оборудования – это направление, которое относится к наиболее эффективным способам энергосбережения. Мировой опыт доказывает, что представлять экономию, например, электроэнергии только как регулировку отопления, своевременное отключение света в помещениях и т. д. – экономически не оправдано. Данная статья расхода составляет в балансе общего потребления порядка 4–5 %, но приводит к значительным финансовым потерям на новую технику. Повышение КПД дизельного или электрического двигателя, механической части локомотива, коэффициента сцепления колес и рельсов, смазка рельсов и гребней колес приводит к существенному снижению энергопотребления. Изменение структуры энергопотребления – переход на полное или частичное использование природного газа или экологически чистого жидкого топлива приводит к двухкратному снижению выбросов

вредных веществ в атмосферу, что значительно дешевле использования газоочистного оборудования. Экономия лишь одной тонны условного топлива обеспечивает перевозку 3000 т грузов примерно на 100 км.

Выполненный в рамках данной работы анализ энергосберегающих мероприятий и оборудования, используемых на вагоноремонтных предприятиях БЖД [1], позволил определить приоритетные энергосберегающие технологии в вагонном хозяйстве, обладающие наибольшей энергоэффективностью.

Очистка цистерн от нефтепродуктов. Традиционно на промывочно-пропарочных станциях применяется технология горячей очистки цистерн, предусматривающая обработку котла цистерны перегретым паром под давлением 0,5–0,8 МПа с последующей промывкой горячей водой и сушкой.

«Горячая» технология является чрезвычайно энергоемкой, представляет существенную угрозу экологии из-за выделения вредных испарений и значительного объема отходов, требующих утилизации, не обеспечивает надлежащего качества очистки, характеризуется длительным временем обработки цистерны. Доля затрат ТЭР в себестоимости пропарки цистерны составляет более 70 % (расходы на топочный мазут, пар, техническую воду, электрическую энергию, платежи за транзит пара при внешнем снабжении). Основной причиной является низкая эффективность традиционных моющих средств (каустическая сода и т. п.), которые работают по принципу растворения и эмульгирования углеводорода в себе, при этом качество очистки достигается увеличением времени и температуры обработки поверхности, что связано с дополнительными затратами энергии.

Эффективное решение задачи – применение «беспропарочных» экологически чистых технологий с оборотным циклом водоснабжения. В их основе лежит применение поверхностно-активных моющих средств (ПАВ), обладающих «расклинивающим» эффектом (О-БИСМ, БОК-3, ВЕГА-ЧМ и др.). С их помощью можно отделять нефтяные загрязнения от поверхности, отводя их в раствор при относительно низких температурах (50–60 °С).

По оценкам специалистов, внедрение технологии «беспропарочной» очистки позволит увеличить производительность труда за счет существенного сокращения времени выполнения основных технологических операций, улучшить качество, снизить себестоимость на 40 %, сократить затраты ТЭР более чем в три раза.

Наружная очистка вагонов и подвагонного оборудования. Качественная очистка вагонов является не только неотъемлемой частью технологического процесса ремонта и технического обслуживания вагонов, но и важным элементом создания благоприятного имиджа БЖД на рынке транспортных услуг. При этом особое внимание традиционно уделяется пассажирским вагонам, где постоянное поддержание чистоты и эстетичного внешнего вида вагона является одним из условий конкурентоспособности.

Обычно наружная и внутренняя очистка грузовых вагонов производится механизированным способом перед проведением ремонта и при подготовке под погрузку с использованием специальных моечных установок. Типовая технология очистки полувагона предусматривает обмывание внутренней и наружной поверхностей кузова, ходовых частей, подкузовного пространства струями подогретой до температуры 70 °С воды под давлением. Время обработки составляет 15–20 мин, расход электроэнергии 40 кВт · ч, при наличии оборотного водоснабжения расход воды на один вагон составляет около 200 л.

Прогрессивной энергосберегающей технологией наружной очистки кузовов вагонов, котлов цистерн, тележек, колесных пар, корпусов букс и другого установлен-

ного на вагонах оборудования является гидродинамический метод обмывки с помощью высоконапорных струй в сочетании с использованием ПАВ. Эффективность обмывки в этом случае достигается за счет повышенного давления обмывочной воды 8–12 атм при малом диаметре струи (2–4 мм) и специальной конструкции струеобразующего сопла. В результате струя воды даже при относительно низкой (10–15 °С) температуре разрушает и удаляет с обмываемой поверхности самые прочные загрязнения. Обмывка высоконапорными струями позволяет получить существенную экономию материальных и энергетических ресурсов. Так, при очистке тележек пассажирских вагонов по новой технологии достигается экономия электроэнергии в три раза (за счет уменьшения нагрева воды), расход воды сокращается на 60 %.

Окраска вагонов. Для улучшения качества, стойкости, прочности и, соответственно, увеличения срока службы защитных покрытий в настоящее время при окраске вагонов и их деталей применяют новые, более качественные материалы, а также прогрессивные технологии предварительной очистки, окрашивания и сушки. В настоящее время учеными и специалистами апробируются новые энергосберегающие технические решения, среди них:

- использование беспылевых абразивоструйных аппаратов, обеспечивающих существенное снижение расходов электрической энергии на вентиляцию дробеструйной камеры за счет снижения (более чем в 100 раз по массе) выброса пыли;

- нанесение лакокрасочных покрытий методом безвоздушного распыления, снижающего расход краски на 30 %, растворителя на 70–80 % по сравнению со способами пневматического распыления;

- сушка наружных и внутренних поверхностей кузова вагона инфракрасным методом. При этом достигается экономия электрической энергии в 3–5 раз по сравнению с конвективным методом за счет более высокого КПД поверхностного нагрева, сокращения времени сушки, безынерционности инфракрасных излучателей, отсутствия необходимости предварительного прогрева помещения сушильной камеры.

Комплексная механизация ремонта вагонов. Более 50 % общей трудоемкости вагоноремонтного производства составляют работы, выполняемые в вагоносборочных участках депо и цехах заводов. Эти работы отличаются большим разнообразием, сложностью и формируют существенную долю затрат электроэнергии (около 1/4 затрат на технологические нужды). Основными являются операции, связанные с правкой деформированных рам и металлических элементов кузова, восстановлением изношенных поверхностей, заваркой трещин, различного рода операции соединения сопрягаемых элементов при помощи сварки, болтов и заклепок, очисткой и покраской кузова вагона.

Значительной энергоемкостью и сложностью обладают технологические процессы разборки, сборки, ремонта и восстановления тележек, колесных пар с буксами, автосцепок, тормозной рычажной передачи.

Основные направления повышения эффективности ремонтного производства: комплексная механизация и автоматизация ремонтных работ с применением механизированных линий (производственных конвейеров), оборудованных специальными технологическими и подъемно-транспортными механизмами, приспособлениями, механизированным электрическим и пневматическим инструментом. Поточный метод организации производства позволяет обеспечить единый ритм технологического процесса, снизить коэффициент неравномерности потребления энергоресурсов в течение рабочей смены, сократить непроизводительные простои оборудования, упростить систему управления и материально-технического снабжения производства.

Перспективным является применение комплексной автоматизации производственных процессов с использованием автоматических программно-управляемых манипуляторов (промышленных роботов), отличающихся способностью к быстрой переналадке последовательности, скорости и содержания манипуляционных действий. За счет возможности быстрой переналадки промышленные роботы обеспечивают наибольший эффект в условиях частой смены объектов производства, а также при автоматизации ручного труда.

Механизация технологических процессов при росте прямых энергетических затрат на работу машин и механизмов обеспечивает повышение общей энергетической эффективности работы вагоноремонтного предприятия за счет следующих факторов:

– существенного увеличения производительности труда и объемов производства, что приводит к уменьшению доли условно-постоянной составляющей энергозатрат на единицу продукции;

– улучшения показателей эффективности использования технологического оборудования, ритмичности электропотребления, выравнивания годовых и сменных графиков нагрузки, сокращения времени холостого хода, непроизводительного расхода топливно-энергетических ресурсов во время перерывов в работе;

– высвобождения и перераспределения производственных площадей, уменьшения годового фонда рабочего времени для выполнения заданной производственной программы и связанных с этим затрат ТЭР на отопление, вентиляцию и освещение;

– сокращения затрат ТЭР на транспортирование ремонтируемых объектов, материалов и комплектующих за счет оптимизации производственной логистики, повышения коэффициента автономности и технологической замкнутости производственных участков, использования локальных грузоподъемных и передаточных механизмов, работающих в оптимальном нагрузочном режиме;

– повышения качества ремонта, снижения внутреннего возврата и количества отцепок вагонов в гарантийный период и, как следствие, затрат ТЭР на устранение последствий.

Литература

1. Энергосбережение на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / В. А. Гапанович [и др.] ; под ред. В. А. Гапановича. – М. : Издат. дом МИСиС, 2012. – 620 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В. В. Казаченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. В. Логвин

Экономия и рациональное использование электрической энергии являются важными проблемами для любого государства и человеческого общества в целом.

Известно, например, что в городском электрическом транспорте потери электроэнергии в переходных режимах составляют более 40 % от ее объема, потребляемого из сети.

Поэтому проблема уменьшения энергетических потерь в тяговых электроприводах за счет организации рационального режима их разгона и торможения является достаточно актуальной.

Качество системы управления электроподвижного состава оценивается по нескольким показателям, основными из которых являются: регулировочная способ-

ность; энергетическая эффективность; массогабаритные и стоимостные показатели; надежность; безопасность и эргономика обслуживания.

Микропроцессорная система управления тяговым электродвигателем (МПСУ) – комплекс компьютерного, электронного и электромеханического оборудования на основе IGBT-транзисторов для управления тяговыми электродвигателями. Основным принципом работы МПСУ является регулирование оборотов и вращающего момента тягового электродвигателя путем формирования в обмотках тягового электродвигателя импульсов электрического тока с заданной частотой и скважностью следования. При необходимости увеличения оборотов или вращающего момента импульсы становятся более частыми и длительными во времени, таким образом возрастает средний ток через тяговый электродвигатель. Если нужно понизить обороты или развиваемый момент, то МПСУ формирует более редкие и короткие импульсы в их временной последовательности, обеспечивая уменьшение среднего тока, проходящего через обмотки тягового электродвигателя. При работе с асинхронным электродвигателем переменного тока МПСУ также производит разложение постоянного напряжения контактной сети 600 В на многофазное переменное с регулируемой частотой вращения поля и изменением напряжения для контроля момента тяги или торможения.

Использование современных микропроцессорных систем управления тяговым электродвигателем позволяет избежать потерь электроэнергии на нагрев, тем самым значительно повысить КПД электропривода. Так же, за счет бесступенчатого увеличения тока в обмотках тягового электродвигателя, МПСУ позволяет достичь плавного разгона электропривода без рывков и толчков. Отсутствие сложных электромеханических устройств, механической коммутации положительно сказывается на надежности всего электрооборудования.

МПСУ можно условно разделить на три типа:

- работающие с двигателями постоянного тока;
- работающие с асинхронными электродвигателями;
- универсальные МПСУ, работающие с электродвигателями как переменного, так и постоянного тока.

Основным элементом систем управления современных преобразователей частоты является специализированный микроконтроллер, или цифровой сигнальный процессор (DSP). Построение системы управления на базе DSP обусловлено необходимостью произведения большого объема сложных вычислений в режиме реального времени для реализации современных алгоритмов управления.

Система управления может быть одно- или многопроцессорной. Однопроцессорные системы обладают рядом существенных недостатков: к микроконтроллеру предъявляются повышенные требования по наличию встроенных периферийных модулей и портов ввода–вывода, по быстродействию и объему памяти; значительно усложняется разработка программного обеспечения.

В настоящее время большинство преобразователей строится на двухпроцессорной основе. Первый процессор выполняет основные функции управления преобразователем частоты (реализация алгоритмов управления инвертором, выпрямителем, опрос датчиков и т. д.), второй обеспечивает работу пульта управления, связь с системой верхнего уровня и другие сервисные функции.

Микропроцессорная система управления электроприводом (МПСУ) состоит из:

- МПСУ выпрямителя;
- МПСУ инвертора;
- местного пульта управления с индикацией на базе контроллера и промышленного компьютера.

МПСУ обеспечивает:

- регулирование и стабилизацию напряжения выпрямителя;
- регулирование и ограничение тока заряда фильтра постоянного тока и тока нагрузки;
- регулирование и ограничение тока инвертора;
- регулирование оборотов электродвигателя в функции внешнего сигнала;
- плавный разгон и торможение электродвигателя с заданным темпом.

Частотное регулирование осуществляется по закону $U/f = \text{const}$, при котором соотношение между частотой статора поддерживается постоянным. Преимуществом этого закона является то, что электропривод может работать без отрицательной обратной связи по скорости и обладает естественной жесткостью механических характеристик в ограниченном диапазоне регулирования скорости.

Контроллер выпрямителя формирует импульсы управления выпрямителем с необходимым углом, величина которого зависит от тока и напряжения выпрямителя и напряжения сети.

Контроллер инвертора формирует импульсы управления тиристорами инвертора, причем модулируется средний шестидесятиградусный интервал проводимости каждого плеча. Частота модуляции находится в пределах 350–400 Гц и обеспечивается необходимым количеством импульсов модуляции для каждого конкретного значения выходной частоты. Глубина модуляции (скважность и количество импульсов) определяет величину выходного напряжения инвертора. При изменении глубины модуляции от нуля до единицы выходное напряжение инвертора изменяется от нуля до максимального значения, определяемого напряжением заряда фильтра.

Выходная частота задается от датчика интенсивности, который плавно изменяет текущую частоту до значения, которое соответствует заданному. При превышении допустимых значений токов и напряжений изменение текущей частоты прекращается. Выходное напряжение задается в соответствии с выходной частотой.

Для эффективного управления электроприводом необходимо иметь информацию как о полном выходном токе инвертора (ток нагрузки), так и о его активной и реактивной составляющих. При прямоугольной форме выходного напряжения, как показали результаты моделирования различных вариантов, наиболее достоверную информацию дает использование измерения выходных токов инвертора для вычисления полного тока и его активной и реактивной составляющих основной гармоники.

Асинхронный ТЭД является более перспективным. Главными преимуществами асинхронного ТЭД являются большая экономичность и отсутствие коллектора с щетками.

Асинхронные тяговые двигатели с короткозамкнутым ротором в 2–4 раза легче двигателей постоянного тока, в 2–3 раза дешевле их, практически не имеют ограничений по силе тяги и току, обладают повышенной надежностью из-за отсутствия скользящих контактов (коллектора) и реализуют максимальную мощность во всем заданном диапазоне скоростей.

Кроме того, ввиду отсутствия коллектора в асинхронных двигателях не нужны устройства, облегчающие процесс коммутации, в том числе и добавочные полюсы. Максимальная частота вращения ротора не ограничивается допустимой окружной скоростью коллектора. Вращающееся магнитное поле позволяет обеспечить более высокое использование электромагнитных сил в электродвигателе. Поэтому асинхронный двигатель по сравнению с двигателем постоянного тока имеет меньшую массу, для его изготовления расходуется меньше дефицитных материалов. Снижение массы тягового двигателя является весьма важным еще и потому, что приводит к

уменьшению воздействия неподдресоренных масс электропривода. Асинхронные двигатели значительно надежнее в эксплуатации, менее трудоемки в обслуживании и ремонте. Как указывалось выше, частота вращения ротора асинхронного двигателя не может достигнуть частоты вращения магнитного потока статора. Благодаря этому асинхронные двигатели не допускают резкого повышения частоты вращения ротора при снятии механической нагрузки.

Быстрое развитие полупроводниковой техники и микроэлектроники привело к применению микропроцессорной системы управления тяговым приводом.

Микропроцессорная система обладает рядом преимуществ:

– электромеханическое преобразование энергии осуществляется более просто – регулируемый с помощью микропроцессорного средства управления, асинхронный электропривод позволяет устранить необходимость в трансмиссиях, коробках передач, редукторах;

– цена системы уменьшается путем эффективного регулирования во всем диапазоне скоростей;

– возрастает энергетическая эффективность системы – регулирование скорости снижает потери мощности в двигателях;

– управление вентильными преобразователями и создание выходных ШИМ-сигналов с высоко разрешающей способностью;

– модернизация функционирования – цифровое регулирование добавляет такие свойства, как изменение частотных свойств, диапазона контролируемых неисправностей и способность к взаимодействию с другими системами.

Предложены мероприятия, при которых как при частотном, так и при векторном способе управления осуществляется управление процессом разгона транспортного механизма с учетом протекания электромагнитных процессов и оптимизации энергетических затрат, что потребовало, в свою очередь, создания эффективных систем управления. Одним из критериев качества протекания электромагнитных процессов является величина перерегулирования, которая не превышает некоторого максимального значения в переходных режимах.

СЕКЦИЯ IV ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ОБЗОР ПРИНЦИПОВ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ТОКОВ ДЛЯ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ И ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Е. А. Ильющиз

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Ю. В. Крышневу, Ю. А. Козусев

Измерения тока с помощью гальваномагнитных преобразователей Холла. Принцип действия преобразователей Холла основан на использовании одноименного физического явления, заключающегося в появлении поперечной разности потенциалов (ЭДС Холла) на краях проводящей пластины, помещенной в магнитное поле, при условии, что по пластине протекает электрический ток:

$$E_x = kIB, \text{ В,}$$

где E_x – ЭДС Холла, В; k – коэффициент зависимости параметров используемого полупроводникового материала, соотношения геометрических размеров преобразователя и режима его работы; I – ток через пластинку, А; B – индукция магнитного поля, Тл.

Для повышения чувствительности устройства часто используют тороидальный сердечник, в зазор которого помещается датчик Холла (рис. 1) [1], [3].

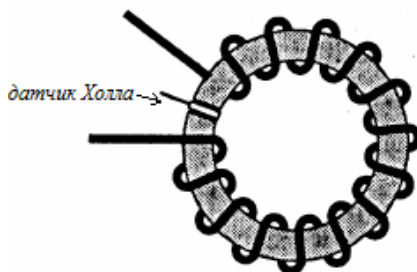


Рис. 1. Пример реализации датчика тока с использованием тороидального сердечника и датчика Холла

Измерения тока с помощью магниторезистора. Магниторезисторы – это электронные компоненты, действие которых основано на изменении электрического сопротивления материала при воздействии на него магнитного поля (магниторезистивный эффект). Если приложено магнитное поле B , то траектория носителей в магниторезисторе изменяется и представляет циклоиду, а столкновения носителей будут происходить чаще, так как время и длина свободного пробега носителей уменьшится. А это равносильно уменьшению скорости дрейфа или подвижности носителей и в итоге – проводимости:

$$\rho(B) = \rho_0 \left[1 + \frac{AB^2}{1 + \mu^2 B^2} \right];$$

$$\rho(B) = \rho_0 [1 + (\mu B)^2].$$

Наиболее популярен преобразователь магнитосопротивления в виде диска Корбино. Это плоский полупроводниковый диск с двумя электродами, один из которых припаян в центре диска, а другой – по его периметру. Достоинство такой формы в том, что при протекании тока через диск в радиальном направлении эффект Холла практически отсутствует и, следовательно, эффект изменения сопротивления в магнитном поле проявляется наиболее сильно [4].

Трансформаторный датчик тока. Бесконтактное измерение тока также можно осуществить с помощью трансформатора тока. На рис. 2 изображена схема такого устройства. Выходное напряжение определяется по следующей формуле [2]:

$$U \approx \left[\frac{I}{n} \right] 100,$$

где U – напряжение на выходе датчика; I – измеряемый ток; n – количество витков вторичной обмотки.

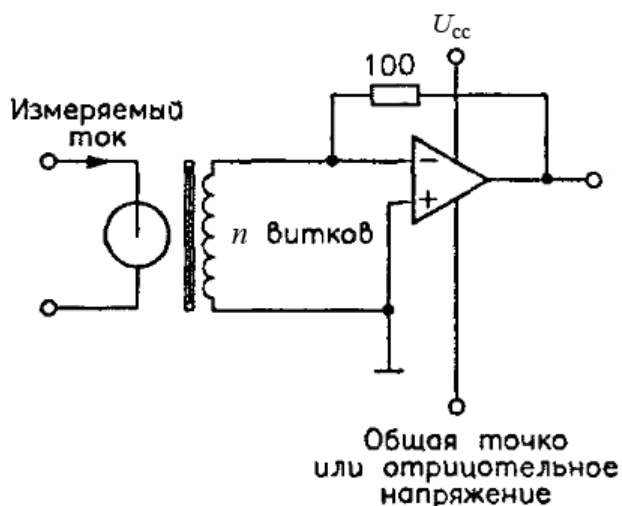


Рис. 2. Трансформаторный датчик тока

Данная схема применима только для измерения переменного тока.

Эффект Фарадея. Линейно поляризованное излучение после прохождения рабочего тела, обтекаемого током I , и, следовательно, находящегося в поле с магнитной индукцией B_0 , изменяет азимут плоскости поляризации на угол φ . Азимут плоскости поляризации излучения, выходящего из анализатора, ψ . Таким образом, согласно закону Малюса, поток излучения, попадающего на фотоприемник, приводит к появлению на его выходе фототока. Бесконтактное измерение тока с использованием Эффекта Фарадея из-за громоздкости и сложности с технической точки зрения реализации метода нашло применение, например, в исследовании диэлектриков и полупроводников, что позволяет наиболее точно определять их важнейшие характеристики: эффективную массу носителей заряда и параметры зонной структуры [4].

Кольцевой феррозонд. На рис. 3 изображен датчик тока с использованием кольцевых феррозондов, которые наименее подвержены влиянию магнитного поля Земли и других однородных полей.

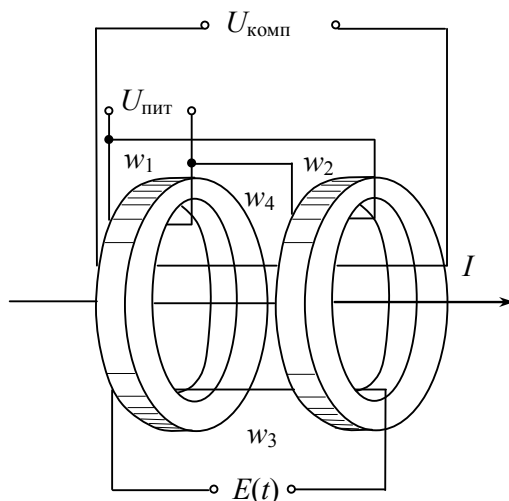


Рис. 3. Разработанный кольцевой феррозонд

Феррозонд выполнен на двух кольцевых сердечниках из феррита. Питающее напряжение подключено к первичным обмоткам ($w_1 = w_2$) и создает магнитные потоки. Компенсационная обмотка (w_4) предназначена для компенсации магнитного поля измеряемого тока. Четные гармоники наведенной в измерительной обмотке ЭДС суммируются, формируя сигнал $E(t)$, пропорциональный измеряемому току и определяемый выражением

$$E(t) = 4\omega w_3 s B_0 \sum_{n=1}^{\infty} n \mu_{2n} \sin(2n\omega t), \text{ В,}$$

где $\omega = 2\pi f$ – частота тока возбуждения, рад; w_3 – число витков измерительной обмотки, шт.; s – площадь поперечного сечения одного сердечника, м^2 ; n – номер гармоники; $\mu_{2n} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \mu_d(\omega t) \cos(2n\omega t) d(\omega t)$ – амплитуды четных гармоник магнитной проницаемости; μ_d – дифференциальная магнитная проницаемость.

Литература

1. Говорков, В. А. Электрические и магнитные поля / В. А. Говорков. – М. : Энергия, 1968.
2. Толстов, Ю. Г. Измерительные трансформаторы постоянного тока и напряжения / Ю. Г. Толстов. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1961.
3. Абрамзон, Г. В. Электрические клещи постоянного тока / Г. В. Абрамзон. – Измер. техн., 1973.
4. Разин, Г. И. Бесконтактное измерение электрических токов / Г. И. Разин, А. П. Щелкин. – М. : Атомиздат, 1974.

**ПРИМЕНЕНИЕ 24-БИТНЫХ АЦП DATA TRANSLATION
ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ИНКЛИНОМЕТРА:
О МЕТОДАХ МИНИМИЗАЦИИ ШУМОВ И КОМПЕНСАЦИИ
РАССИНХРОНИЗАЦИИ КАНАЛОВ**

В. Г. Верниковский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, Ю. А. Будагов

Введение. Прецизионный Лазерный Инклинометр (ПЛИ) представляет собой двухкоординатный угловой сейсмограф, который в среднечастотном диапазоне (от нескольких часов до нескольких минут) может регистрировать в угловом представлении микросейсмические явления: удаленные землетрясения, микросейсмические колебания типа «микросейсмический пик», деформацию поверхности Земли Луной, Солнцем и т. д. Точность данного прибора составляет $0,1$ нрад/Гц^{1/2}. Благодаря высокой точности прибор незаменим в широком классе задач, требующих высокоточной стабилизации пространственного положения ускорителей/коллайдеров, гравитационных антенн, крупномасштабных телескопов и пр.

Одним из ключевых элементов электроники ПЛИ является АЦП. В ПЛИ используются многоканальные 24-битные АЦП DT9828 и DT9824, обладающие рядом как достоинств, так и недостатков. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к АЦП, является их быстродействие, устойчивость к температурным и электромагнитным воздействиям и одновременность работы их каналов.

В данный момент стоит проблема выбора одного из двух АЦП, так как 8-канальный АЦП DT9828 имеет главным своим недостатком временную сдвигку в записи между каналами, в то время как 4-канальный DT9824 работает синхронно. В свою очередь, DT9824 обладает высоким пороговым сигналом по входам (около 10 В) и чувствительностью 10^{-6} В/Гц^{1/2}, из-за чего в системе необходимо устанавливать предуселитель. АЦП DT9828 с пороговым сигналом 0,156 В и чувствительностью 10^{-8} В/Гц^{1/2} не требует установки предуселителя. Учитывая перечисленные достоинства и недостатки каждого из АЦП, были выработаны методики компенсации рассинхронизации работы каналов и минимизации долговременных шумов на входах, вызванных внешними воздействиями.

Методы минимизации шумов АЦП. На рис. 1 показаны измеренные суточные шумы четырех каналов 24-битного АЦП DT9824 с временем измерения 0,1 с. Измерения проводились в условиях лабораторной комнаты с вариацией температуры день/ночь, достигающей нескольких градусов. Как видно из рисунка, наблюдаются как долговременное изменение шумов, вызванное такими факторами, как изменение температуры, радиофон, так и кратковременное (за 10–15 мин, промежуток А) увеличение шумов, имеющее индустриальную природу (работа электроинструмента и т. д.).

Для уменьшения погрешности измерения разработан метод «Реперного канала». Суть метода состоит в использовании данных о вариации шумов АЦП одного из каналов для уменьшения их влияния в оставшихся. Таким образом, из четырех каналов АЦП рабочими остаются три, а один используется в качестве реперного.

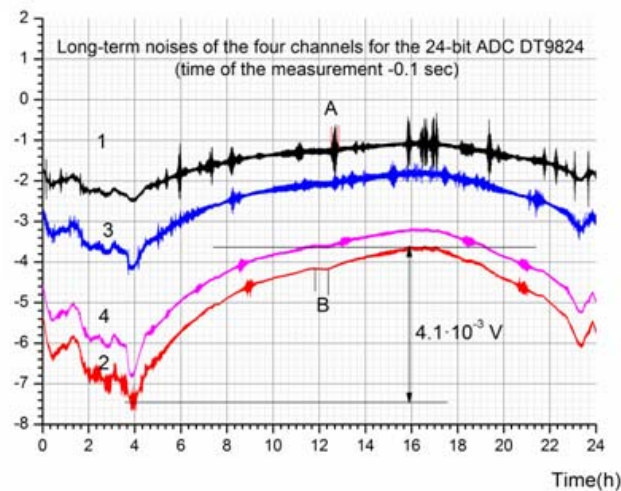


Рис. 1. Долговременные (24 часа) шумы АЦП до нормирования

Из рис. 1 видно, что шумы в каналах 1–4 имеют «согласованный» дрейф. Каждому каналу АЦП сопоставляется «масштабный коэффициент» относительно канала 2 с максимальной амплитудой шума. Экспериментально были определены масштабные коэффициенты 1, 3 и 4 каналов относительно второго. Для данных на рис. 1 они составили $K_1 = 2,71$; $K_2 = 1$; $K_3 = 1,70$; $K_4 = 1,15$. Умножив значения шумов на масштабные коэффициенты, получаем данные с примерно одинаковой вариацией шума во всех четырех каналах (рис. 2, а). Далее из нормированных показаний каждого из каналов вычитаются показания второго канала (рис. 2, б).

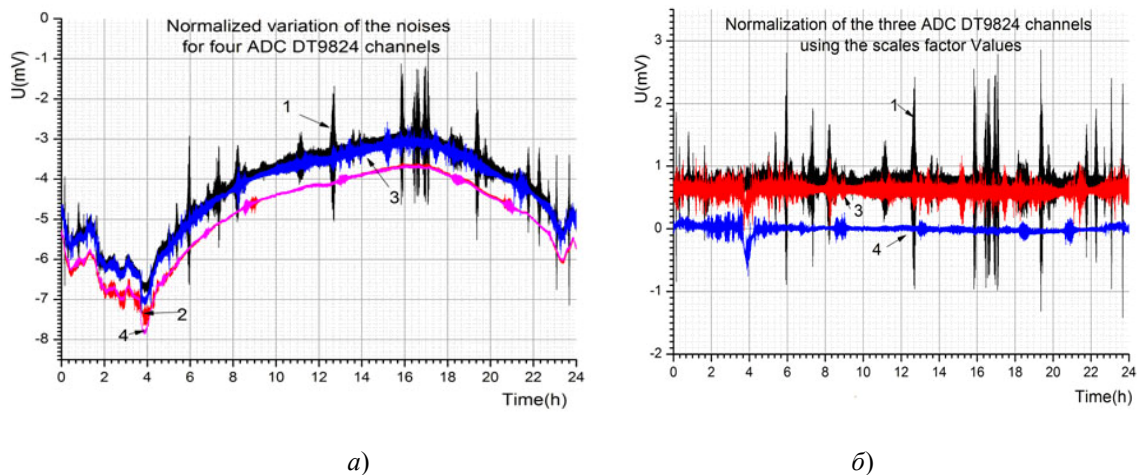


Рис. 2. Компенсация шумов 1, 3 и 4 каналов с использованием сигнала 2 канала DT9824

Как видно из рис. 2, достигнуто существенное – в 20 раз – уменьшение долговременных шумов АЦП при помощи компенсации вычитанием.

Одна из причин дрейфа шумов АЦП – это изменение внешней температуры [1]. Поэтому были исследованы шумы АЦП в температурно-стабильной лаборатории с суточной температурной нестабильностью лучше $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]. В ней также имеется изоляция от внешнего электромагнитного поля высокой частоты (радиофон).

Использование температурно-стабильных и радиоизолированных условий уменьшило шумы АЦП в 240 раз.

Методы компенсации рассинхронизации работы каналов АЦП. При помощи генератора AFG 3091 Textronix подавался синусоидальный сигнал 0,6 мВ на частоте 0,4 Гц на восемь входов АЦП. Выходные сигналы АЦП записывались компьютером.

Прецизионным вольтметром (точность измерения 1 мкВ) измерялось различие амплитуд сигналов, подаваемых одновременно на восемь каналов АЦП.

Обнаружилось, что выходные сигналы в каналах АЦП имели разные амплитуды. Различие в амплитудах не превышало 8 %. Соответствующая поправка была определена и внесена.

С учетом корректирующих поправок на рис. 3 показаны выходные сигналы с первого и восьмого каналов; регистрация осуществлялась на частоте 10 Гц.

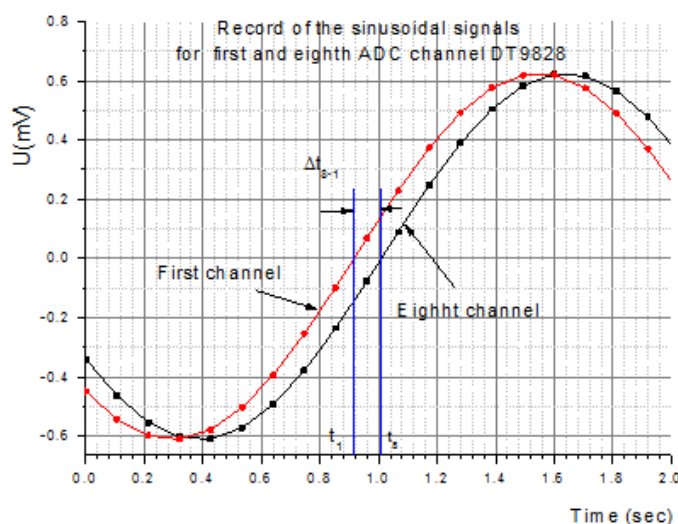


Рис. 3. Синусоидальные сигналы (0,4 Гц) первого и восьмого каналов АЦП DT9828

Наблюдается временная сдвигка $\Delta t_{8-1} = t_8 - t_1$ в записи первого и восьмого каналов. Для ее определения данные каждого канала были аппроксимированы. Электронный переключатель каналов в этом АЦП работает последовательно: измерения начинаются с первого канала и заканчиваются восьмым. Поэтому временная сдвигка максимальна между первым и восьмым каналами: при частоте записи 10 Гц величина $\Delta t_{1-8} = 93,45$ мс. Для оценки точности измерения временных сдвижек были вычислены временные задержки как между первым и последующими каналами, так и между соседними каналами. Временные задержки между первым и последующими каналами были поделены на количество разделяющих каналов плюс один. По совокупности данных была определена величина средней задержки Δt_{cp} и ее среднеквадратичная ошибка u_{cp} : при частоте записи 10 Гц $\Delta t_{cp} = 13,36 \pm 0,04$ мс.

Имея величину средней задержки Δt_{cp} между соседними каналами, «восстановим одновременность» во всех восьми каналах. Это позволит использовать данный тип АЦП для регистрации сигналов без временных задержек.

Заключение. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально исследованы шумы двух типов АЦП DT9824 и DT9828 в условиях лабораторного помещения. Разработана и применена методика уменьшения температурных шумов АЦП DT9824. Определены временные задержки в записи сигнала для восьми каналов АЦП DT9828.

2. Используя методику «Реперного канала», получено уменьшение долговременных шумов в 20 раз для DT9824. Использование термостабильных и радиоизолированных условий дало уменьшение шумов в 240 раз.

Величина средней временной задержки Δt_{cp} в записи сигнала для каждого из восьми каналов и ее среднеквадратическая ошибка σ_{cp} на частоте записи 10 Гц составили $\Delta t_{cp} = 13,36 \pm 0,04$ мс.

Литература

1. Долговременные измерения Прецизионного Лазерного Инклинометра в термостабильных условиях / Н. С. Азарян [и др.] // Письма в ЭЧАЯ, Дубна. – 2015. – № 4.
2. Стабилизация температуры воздуха в теплоизолированной оптической лаборатории / Ю. А. Будагов [и др.] // Письма в ЭЧАЯ, Дубна. – 2014. – № 11.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ МАГНИТА НА ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ ДАТЧИКА ХОЛЛА В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А. С. Левкович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Ковалев

Введение. Линейные датчики Холла (ЛДХ) находят применение во многих областях производства: автомобилестроении, электронике, изготовлении электродвигателей. Такое обширное применение датчиков Холла обусловлено простотой конструкции, отсутствием механических воздействий, низкой стоимостью.

На показатели точности и стабильности характеристик ЛДХ оказывают влияние множество факторов: внешнее механическое воздействие на корпус микросхемы, смещение датчика относительно оси магнита, пьезорезистивные эффекты. Из приведенных выше факторов, влияющих на показания ЛДХ, наиболее значимым является геометрическая неоднородность в системе ЛДХ и постоянного магнита (ПМ), что вносит наибольшую погрешность в измеряемые величины. Для изучения данного рода погрешности была разработана методика и построен стенд для снятия зависимости изменения напряжения при несоосности между датчиком ЛДХ и магнитом.

Стенд для изучения влияния несоосного расположения линейного датчика Холла и постоянного магнита. В стенде для изучения отклонений от перпендикулярного расположения ЛДХ и ПМ (рис. 1) применялись компоненты, которые используются в производстве датчиков для управления гидравлическими регуляторами потока: ЛДХ SS411A производства фирмы Honeywell, ПМ из сплава NdFeB цилиндрической формы (длина 25 мм, диаметр 5 мм) [1]. В гидравлических распределителях диапазон перемещений золотника составляет 3–5 мм, но для большей универсальности стенда диапазон расстояний был увеличен до 60 мм, при этом магнит проходил над ЛДХ.

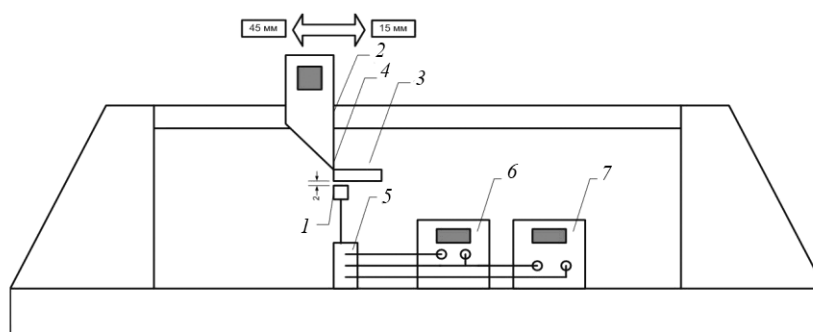


Рис. 1. Стенд для изучения несоосного расположения ЛДХ и ПМ

В данном стенде ПМ 3, закрепленный на измерительном элементе 2, с точностью снятия расстояния в 0,1 мм, перемещался над ЛДХ 1 на расстояния 2, 4, 6 мм. Точкой нулевого отсчета был принят край ПМ 4. Направление движения ПМ в левую сторону было принято за положительные значения отсчета, а в правую – за отрицательные. Шаг перемещения был выбран в 0,5 мм как наиболее оптимальный. Нулевой точкой принят край магнита, перемещение от края составило 15 мм в одну сторону и 45 мм в другую. Питание ЛДХ производилось напряжением 10 В 6. С помощью угломера с верньером 5 ЛДХ был установлен перпендикулярно оси магнита, максимальный угол отклонения был выбран 5° в каждую сторону, с шагом 1° и точность $0,5^\circ$. Выбор максимального угла отклонения в 5° обусловлен тем, что углы, превышающие заданное значение приводят к значительным искажениям выходного сигнала. Напряжение снималось мультиметром 7 с точностью измерения до 0,001 В и погрешностью $0,5\% + 4$ ед. счета. Для получения среднего значения измерения производились на двух ЛДХ из одной партии по два раза. Затем выводилось среднее значение и были получены графики зависимостей напряжения выхода ЛДХ от расстояния между ЛДХ и ПМ при разных углах смещения (рис. 2).

При выбранной системе взаиморасположения элементов и воздушном зазоре 2 мм даже небольшое отклонение от угла 90° между ЛДХ и ПМ приводит к значительным изменениям выходного сигнала – от 10 до 37 %. При этом наблюдается четкая зависимость увеличения искажения выходного сигнала ЛДХ от угла отклонения между ЛДХ и ПМ. На графике (рис. 2) при зазоре 2 мм видно, что изменяются не отдельные места наибольшего влияния магнитного поля, а вся характеристика целиком, поэтому мы получаем столь значительные искажения выходного сигнала ЛДХ. При зазоре между датчиком и ПМ в 4 мм наибольшее отклонение получено при углах 1° , 2° , 5° . Такое поведение может быть обусловлено увеличением воздушного зазора. Влияние магнитного поля на ЛДХ ослабевает и уровень выходного напряжения уменьшается, при этом расхождение выходных напряжений ЛДХ в зависимости от угла между ПМ наблюдается не по всей длине графика, а в определенных местах – экстремумах, которые близки к краям магнита (см. таблицу). Для зазора в 6 мм виден практически одинаковый процент искажения для всех углов отличных от 90° , соответственно, при воздушном зазоре в 6 мм влияние магнитного поля на ЛДХ столь невелико, что изменение угла между ЛДХ и ПМ не может оказать существенного влияния на выходное напряжение ЛДХ.

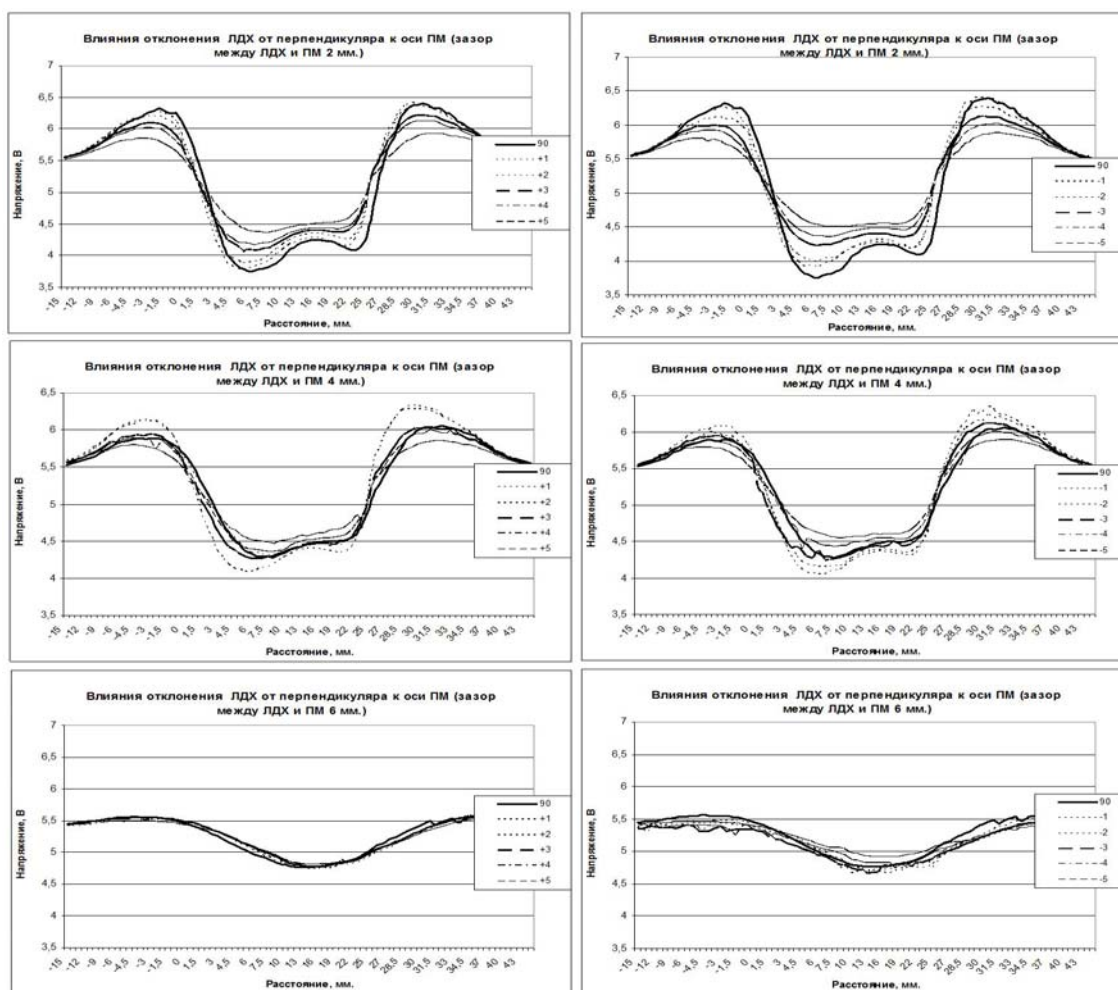


Рис. 2. Графики зависимостей выходного напряжения ЛДХ от расстояния между ЛДХ и ПМ при разных углах смещения от перпендикулярного расположения осей ПМ и ЛДХ

Расхождение выходного сигнала при изменении угла между ЛДХ и ПМ

Зазор между ЛДХ и ПМ	2 мм	4 мм	6 мм
Угол, °	Расхождения от 90°, %	Расхождения от 90°, %	Расхождения от 90°, %
90°	—	—	—
+1	9,86	11,21	5,09
+2	11,34	19,04	4,32
+3	17,53	6,98	3,81
+4	21,6	6,25	4,16
+5	32,67	12,01	5,83
-1	9,77	17,32	8,01
-2	13,06	11,82	10,66
-3	22,22	8,74	12,05
-4	28,36	6,76	10,89
-5	36,89	11,99	10,68

Заключение. Итак, в результате обобщения вышеизложенного можно констатировать:

1. Отклонение от перпендикулярного расположения осей ЛДХ и ПМ вносят искажения в сигнал от 5 до 40 % в зависимости от угла отклонений.

2. На величину искажений ключевое влияние оказывает воздушный зазор, так как при его изменении меняется значение напряженности магнитного поля.

3. Наибольшее искажение выходного сигнала ЛДХ наблюдается у краев магнита при движении к его центру на расстоянии 0,5–5,0 мм.

4. При массовом производстве датчиков на основе ЛДХ и ПМ необходимо собрать эталонную систему с точным геометрическим расположением и по двум точкам (минимум) от края магнита откорректировать все датчики в партии при отклонении сигнала от эталонного, свыше заданного заводом-изготовителем предела.

5. Для использования максимального диапазона ЛДХ его необходимо расположить посередине зоны линейности, указанной на диаграмме.

Литература

1. Sensing and Control Interactive Catalog/Honeywell – Honeywell Inc., Freeport, Illinois 61032, USA, 2012. – P. 8–9.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОЧНОГО МОМЕНТА

И. В. Дорощенко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Важную роль при разработке и изготовлении новых рабочих машин играют их стендовые испытания. С целью проведения достаточно точных и качественных испытаний необходимо обеспечить стабилизацию нагрузочного момента в широком диапазоне изменения скорости вращения [1], [2].

Целью работы является исследование динамических показателей энергосберегающего испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада (АВК) с системой подчиненного регулирования нагрузочного момента и инвариантной системой нагрузочного момента методами имитационного моделирования в среде MatLab.

Анализ материалов опубликованных научных исследований в области построения испытательных стендов на основе АВК показывает, что построение структур данных стендов выполняется по двум типам систем автоматического регулирования (САР):

- подчиненного регулирования (рис. 1) [1];
- инвариантной системе регулирования нагрузочного момента (рис. 2) [2].

Имитационная модель нагрузочной части испытательного стенда на базе АВК с различными САР нагрузочного момента (рис. 3) строилась в MatLab Simulink на основе структурных схем исследуемого стенда (рис. 1 и 2).

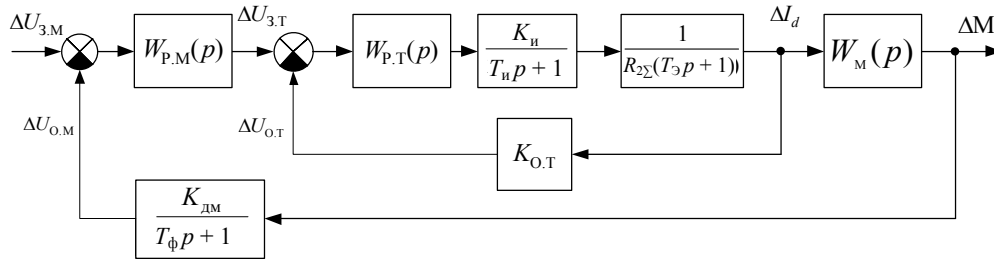


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной системы подчиненного регулирования нагрузочного момента испытательного стенда на основе АВК

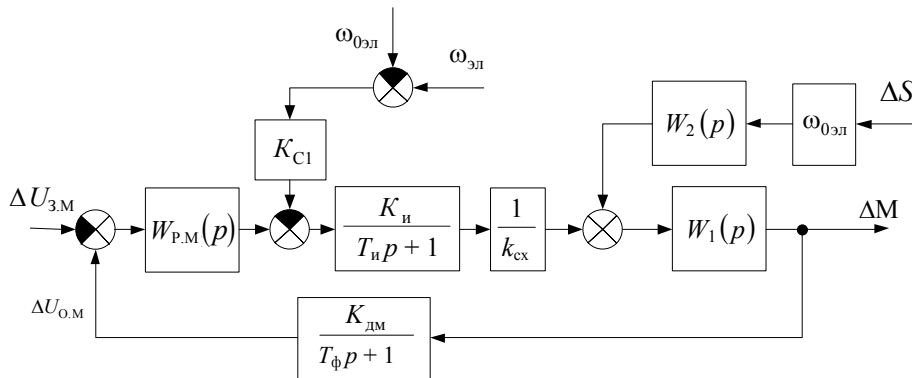


Рис. 2. Структурная схема инвариантной системы автоматического регулирования стенда на основе АВК

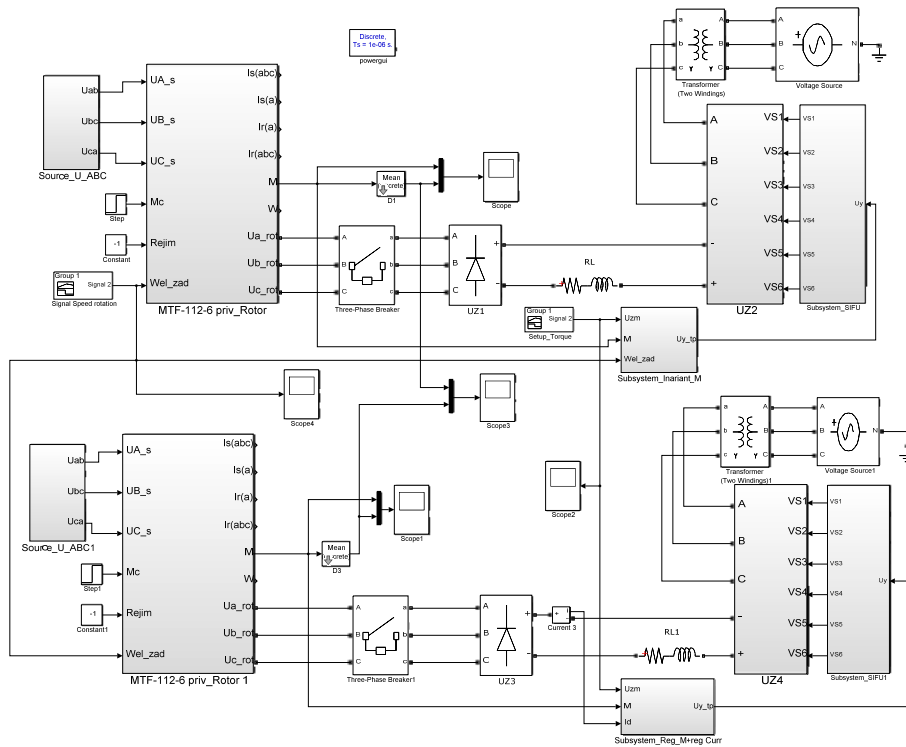


Рис. 3. Имитационная модель нагрузочной части стенда на основе АВК с САР момента в MatLab Simulink

Численное моделирование нагрузочной части испытательного стенда на базе АВК производилось для асинхронного двигателя с фазным ротором марки МТФ 112-6 и согласующего трансформатора марки ТСТ-6,3УХЛ4. Был произведен расчет параметров и синтез регулятором для исследуемых САР.

Переходные процессы испытательного стенда на основе АВК с рассматриваемыми САР при изменении скорости вращения и постоянном сигнале задания момента $U_{3,М} = -2$ В (по возмущению «в малом») представлены на рис. 4.

Имитационное моделирование показало, что нагрузочный момент имеет пульсирующий характер, а его значение зависит от частоты тока ротора. При анализе показателей качества переходных процессов использовалось среднее значение момента за период частоты сети.

В статье представлены переходные процессы при изменении скорости вращения «в большом» и при изменении сигнала задания нагрузочного момента и неизменной скорости для рассматриваемых САР нагрузочного момента.

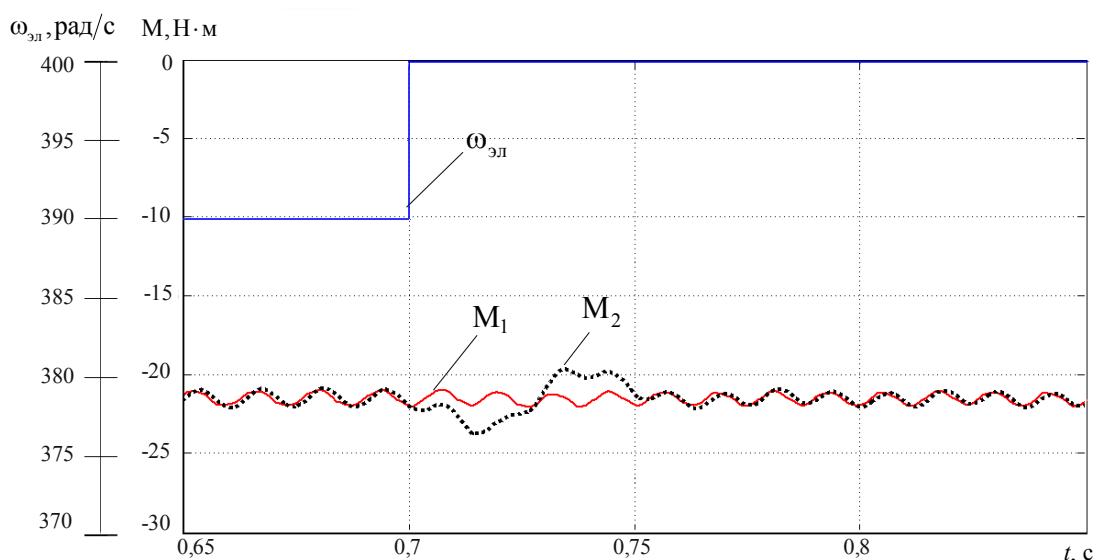


Рис. 4. Переходные процессы при изменении скорости вращения и постоянном сигнале задания момента:

M_1 – среднее значение момента для модели инвариантной САР; M_2 – среднее значение момента для модели САР подчиненного регулирования;

$\omega_{эл}$ – угловая скорость ротора

Время регулирования и перерегулирование при изменении скорости вращения электромеханического стенда с рекуперацией энергии на основе АВК с инвариантной САР лучше ожидаемых при синтезе на модальный оптимум ($t_{ин} = 0,072$ с и $\sigma_{\%} \approx 4,3$ %).

Построение нагрузочной части стенда на основе АВК с инвариантной САР по нагрузочному моменту обеспечивает в 20 раз меньшее перерегулирование нагрузочного момента и в 1,5 раза меньшее время регулирования по сравнению с САР подчиненного регулирования.

Применение инвариантной САР в испытательных стендах с рекуперацией энергии на основе АВК позволит уменьшить броски нагрузочного момента и рекуперированных в сеть токов в динамических режимах.

Литература

1. Асинхронно-вентильные нагружающие устройства / С. В. Хватов [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
2. Нагрузочное устройство : пат. 16927 С2 Респ. Беларусь, МПК G 01 M 15/00 / В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко, В. А. Савельев ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № а20101749 ; заявл. 03.12.2010 ; опубл. 30.04.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2. – 128 с.
3. Дорощенко, И. В. Имитационная модель асинхронно-вентильного каскада в Matlab Simulink / И. В. Дорощенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XV науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23–24 апр. 2015 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – С. 264–267.

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВНУТРИТРУБНОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ НЕФТЕПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

А. В. Мельников

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, Л. А. Захаренко

Система сбора данных – система, осуществляющая сбор информации о значениях физических параметров, полученных от датчиков, установленных на объекте исследования, предварительную обработку, накопление информации и передачу ее в компьютер [1]. В последние годы доминирующей тенденцией при проектировании автоматизированных систем анализа сигналов стало объединение микропроцессорных средств, аппаратуры сбора данных и цифровой обработки в единую информационную систему.

Необходимость в системе дистанционного мониторинга местоположения внутритрубного объекта обусловлена ограниченным радиусом действия низкочастотного канала связи (до 30 м). Принцип дистанционного сопровождения внутритрубного снаряда поясняет рис. 1. Вдоль трубопровода на технически возможном расстоянии устанавливаются детекторы сигнала низкой частоты с ограниченной зоной действия [2]. По локальной вычислительной сети информация о прохождении внутритрубного объекта, например герметизатора, передается на удаленный диспетчерский компьютер.

Передача данных по локальной вычислительной сети осуществляется по протоколу TCP. Используя TCP, можно организовать несколько вариантов обработки информации: организовать WEB-сервер в точке обнаружения внутритрубного объекта, реализовать этот сетевой протокол обмена данных Modbus-TCP с подключением к SCADA-системе. Используя Modbus-TCP, получаем практически ничем не ограниченное количество узлов в сети, скорость передачи от 10 до 1000 Мбит/с, протяженность линий связи до 352000 м (при использовании оптоволокна). Структурная схема модуля обнаружения внутритрубного устройства приведена на рис. 2.

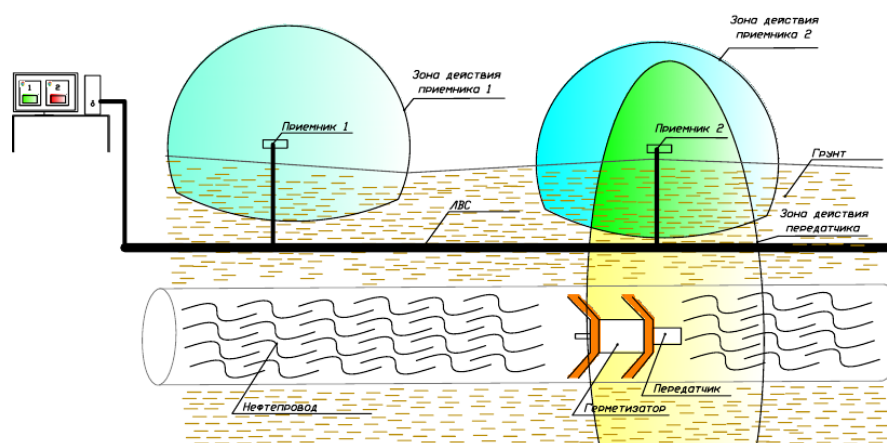


Рис. 1. Принцип дистанционного сопровождения внутритрубного объекта

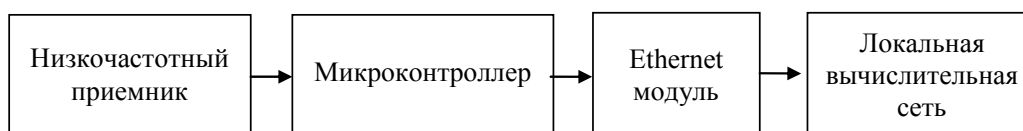


Рис. 2. Структурная схема модуля обнаружения внутритрубного устройства

Для удобства при настройке устройства и получения данных можно реализовать WEB-сервер [3]. Так как память контроллера и его функционал ограничены, используем простейшую WEB-страницу, пример которой приведен на рис. 3.

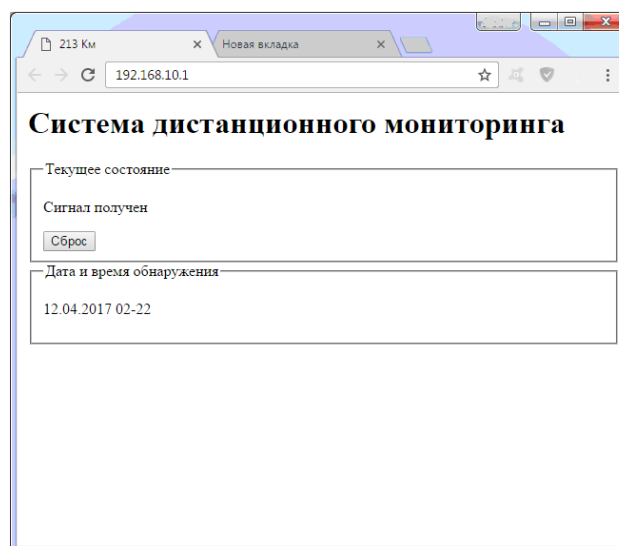


Рис. 3. Пример использования WEB-сервера на микроконтроллере

Низкочастотный приемник обладает возможностью работать как в режиме приема пачек синусоидальных импульсов частотой 22 Гц, так и в режиме приема фазоманипулированных сигналов (М-последовательности). При использовании ансамбля М-последовательностей при эксплуатации внутритрубных устройств [4] появляется

возможность разделять внутритрубные устройства на типы, такие как скребки, диагностические снаряды, герметизаторы. Также при использовании сложных сигналов, сформированных на основе М-последовательностей, вероятность ошибочного приема уменьшается примерно в 10 раз при спектральной плотности шума в 2 раза большей энергии сигнала. Для применения фазоманипулированных сигналов низкочастотный приемник обладает возможностью корреляционного анализа.

В качестве Ethernet модуля используется микросхема ENC28J60. Ethernet модуль осуществляет процесс передачи данных между локальной сетью и микроконтроллером (локальная сеть не является частью устройства), связь с микроконтроллером осуществляется по SPI-интерфейсу [5].

Таким образом, изготовлен макетный образец схемы модуля обнаружения внутритрубного устройства с возможностью удаленно получать информацию о прохождении внутритрубного устройства в месте установки.

Литература

1. Ковалев, А. В. Архитектура построения систем управления и сбора данных / А. В. Ковалев // Вестн. Харьк. нац. автомобил.-дорож. ун-та. – 2007. – № 36.
2. Сістэма дыстанцыйнага маніторынгу месцазнаходжання ўнутрытрубнага герметызатара для нафтаправоднага транспарту / Ю. В. Крышнеў [и др.] // Сборник материалов Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума «Новые горизонты 2015», Минск, 26–27 нояб. 2015 г. – Минск : БНТУ, 2015. – С. 211–212.
3. НТТР/ТСР на Atmega88 микроконтроллере // РадиоЛоцман. – Режим доступа: <http://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=55066221>. – Дата доступа: 01.04.2017.
4. Крышнеў, Ю. В. Применение фазоманипулированных сигналов в системах поиска внутритрубных диагностических снарядов / Ю. В. Крышнеў, Л. А. Захаренко, А. В. Мельников // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2016 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 274–276.
5. Крышнеў, Ю. В. Многоканальный стабилизатор катодного тока с возможностью удаленного управления / Ю. В. Крышнеў, Л. А. Захаренко, А. В. Мельников // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2016 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 271–273.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО МАГНИТА

А. В. Карпов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Ковалев

В современных пропорциональных электрогидравлических системах элементом, связывающим электрические управляющие сигналы и перемещение золотника гидрораспределителя, является электропропорциональный магнит (ЭПМ).

Подпружиненный якорь ЭПМ представляет собой двигатель линейного перемещения, управляемый током, протекающим по обмотке возбуждения. Таким образом, якорь, механически соединенный с золотником гидрораспределителя, при изменении тока в обмотке возбуждения изменяет проходное сечение и, соответственно, требуемые гидравлические характеристики (расход, давление и пр.). Точность управления при этом определяется качеством ЭПМ. Основной причиной потери точности является несовершенство изготовления ЭПМ, которое приводит к механическому гистерезису, возникшему в ре-

зультате трения в подшипниках скольжения в которых перемещается якорь [1], [2]. Эта сила трения в реальных магнитах значительно превосходит (25–30 раз) силу трения в обесточенном ЭПМ. Одним из способов уменьшения влияния гистерезиса является вибрационная линеаризация. Однако производители ЭПМ не приводят сведений об индуктивности обмотки возбуждения и тем более об ее изменении в зависимости от среднего тока обмотки возбуждения и перемещения якоря.

Функциональная схема установки для измерения параметров ЭПМ в зависимости от среднего тока и перемещения якоря, в пределах рабочего хода, представлена на рис. 1.

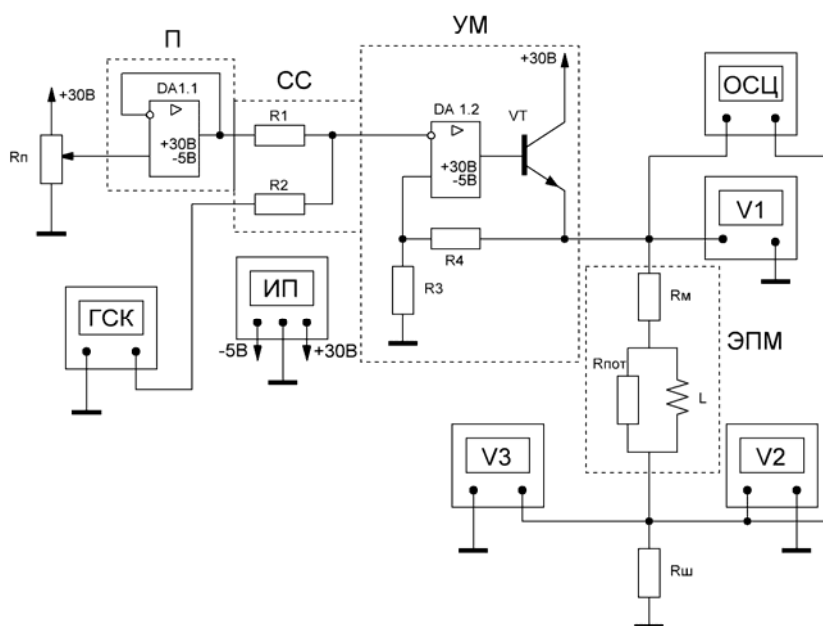


Рис. 1. Функциональная схема установки для измерения переменного тока и фазового сдвига обмотки возбуждения ЭПМ:

R_n – потенциометр, с помощью которого задается постоянный ток в обмотке возбуждения ЭПМ; СС – схема суммирования постоянного и переменного напряжений; ГСК – генератор синусоидального напряжения, задающий амплитуду и частоту переменной составляющей; УМ – усилитель мощности, предназначен для усиления напряжения по мощности, реализован на основе операционного усилителя с последовательной отрицательной обратной связью и мощного эмиттерного повторителя; ЭПМ – электропропорциональный магнит, имеющий обмотку возбуждения с индуктивностью L , сопротивлением «меди» R_n и сопротивлением потерь $R_{пот}$; $R_{ш}$ – сопротивление шунта, с использованием которого измеряется постоянный и переменный ток обмотки возбуждения; ИП – источник питания, выдающий требуемые для питания усилителя мощности напряжения $+30$ В и -5 В; V_1 , V_2 – вольтметры переменного; V_3 – вольтметр постоянного напряжения; П – повторитель напряжения, необходимый для согласования выходного сопротивления потенциометра R_n и входного сопротивления СС; ОСЦ – осциллограф, необходимый для измерения фазового сдвига между напряжением E и током I в обмотке возбуждения ЭПМ

Поскольку коэффициент передачи СС равен 0,5, то для обеспечения единичного коэффициента передачи СС в УМ сопротивления резисторов обратной связи выбираем одинаковыми, т. е. коэффициент усиления УМ равен двум.

Для определения индуктивности L обмотки возбуждения производились следующие действия. При заданном перемещении x в пределах рабочего хода ЭПМ с помощью потенциометра R_{Π} задавался постоянный ток I через обмотку возбуждения, который устанавливался с использованием вольтметра V_3 . При помощи ГСК задавалась частота и амплитуда. Амплитуда измерялась при помощи V_1 , а V_2 использовался для измерения переменного тока через ЭПМ, I_{\sim} . Осциллографом измерялся фазовый сдвиг φ между напряжением E_{\sim} и током I_{\sim} . Данные фиксировались. Таким образом, требуется найти $R_{\text{пот}}$ и L , по известным $R_{\text{м}}$, E_{\sim} , I_{\sim} и φ . Модуль полного сопротивления $|z|$ вычисляется как отношение напряжения к току, комплексное сопротивление имеет вид:

$$z = R + \frac{nRjx}{nR + jx} = R \frac{n + j(n+1) \frac{x}{R}}{n + j \frac{x}{R}}, \quad (1)$$

где $x = \omega L$, и, обозначая $y = \frac{x}{R}$, можно записать:

$$z = R \frac{n + j(n+1)y}{n + jy}. \quad (2)$$

Путем преобразования с помощью тригонометрических формул выражение (2) можно представить в следующем виде:

$$y = \frac{\omega L}{R_{\text{м}}}, \quad (3)$$

$$n = \frac{R_{\Pi}}{R_{\text{м}}}. \quad (4)$$

По заданной частоте ω вычисляем индуктивность L и сопротивление потерь.

Полученные результаты позволяют сделать ряд практических рекомендаций. Значение пульсаций (осцилляций), при прочих равных, будет проявляться выше тогда, когда значение индуктивности обмотки возбуждения ЭПМ ниже, а это происходит при больших и средних токах. Следовательно, диапазон управления током в ЭПМ необходимо по возможности смещать в сторону больших токов.

В работе описана экспериментальная установка, позволяющая измерять параметры обмотки возбуждения ЭПМ (I_{\sim} , E_{\sim} , φ), необходимые для вычисления ее индуктивности.

Представлена методика вычисления индуктивности по измеренным значениям I_{\sim} , E_{\sim} , φ , с использованием которой определены изменения индуктивности обмотки возбуждения в зависимости от положения якоря и среднего тока.

Представленная в работе методика экспериментального определения индуктивности пригодна для любых ЭПМ.

Литература

1. Влияние параметров питающего напряжения электропропорциональных магнитов на их гистерезис / В. А. Карпов [и др.] // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 23–24 окт. 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, ОАО «Компания «Сухой» ; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – С. 91–92.
2. Карпов, В. А. Зависимость гистерезиса пропорциональных магнитов от параметров управляющего напряжения / В. А. Карпов, А. В. Ковалев, А. В. Карпов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 1. – С. 44–50.
3. Анализ влияния критических дефектов магнитной системы электромагнита на его вебер-амперную характеристику / Д. В. Шайхутдинов [и др.] // Фундаментал. исслед. – 2014. – № 11 (ч. 11). – С. 2385–2389.
4. Устройство магнитного контроля для подсистемы управления производством электротехнических изделий / К. М. Широков [и др.] // Современ. проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 192–200.
5. Адаптивная подсистема автоматического управления производством интеллектуальных электроприводов / Д. В. Шайхутдинов [и др.] // Современ. проблемы науки и образования. – 2015. – № 1 (ч. 2).
6. Карпов, А. В. Экспериментальное определение параметров намагничивающего контура пропорционального магнита / А. В. Карпов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 24–25 апр. 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – С. 258–260.
7. Данилов, А. П. Электромагнит пропорциональный ПЭМ8 / А. П. Данилов. – 2005. – Режим доступа: <http://www.khvalynsk.lgg.ru/pem8.php>. – Дата доступа: 05.01.2017.
8. Гидравлика высочайшего качества. – 2009. – Режим доступа: http://www.boschrexroth.com.ua/country_units/europe/ukraine/ru/products_neu/bri/bri_news_overview/bri_news_sweschnikow/index.jsp. – Дата доступа: 10.01.2017.

**СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ГИСТЕРЕЗИСА
ЭЛЕКТРОПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ
ДОРОЖНОЙ МАШИНОЙ**

В. А. Черехухин

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: А. В. Ковалев, В. А. Карпов

Для большинства пропорциональных электроуправляемых систем наиболее широко используются в качестве органа управления пропорциональные магниты (ПМ) [1]. В отличие от обычных электромагнитов, продольное перемещение ферромагнитного якоря ПМ осуществляется пропорционально силе тока, протекающей в обмотке.

На рис. 1, а показана экспериментально снятая характеристика ПМ в составе регулятора расхода при управлении расходом рабочей жидкости гидромотора. Данная характеристика имеет гистерезис, наличие которого объясняется следующим. При движении на якорь ПМ оказывает влияние сила трения $F_{\text{тр}}$, величина которой зависит от качества изготовления магнита и его конструктивных особенностей. При выдвигании якоря $F_{\text{тр}}$ складывается с силой упругости пружины $F_{\text{упр}}$, а при обратном ходе якоря сила трения вычитается из силы упругости пружины.

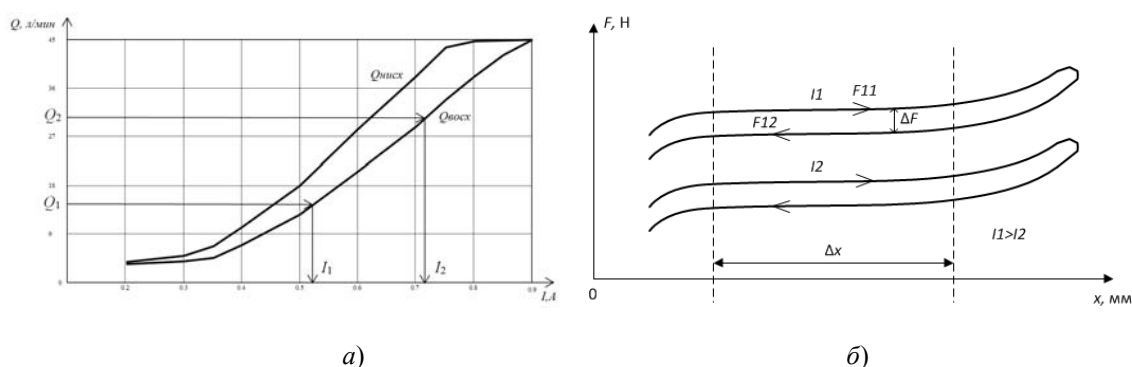


Рис. 1. Характеристики ПМ:

a – типовая характеристика ПМ с гистерезисом; *б* – тяговая характеристика ПМ

При проектировании гидравлических систем с пропорциональным электроуправлением наиболее часто применяются два способа построения систем управления: с датчиками обратной связи по положению якоря (рис. 2, *a*) и с токовым управлением с ШИМ (рис. 2, *б*).

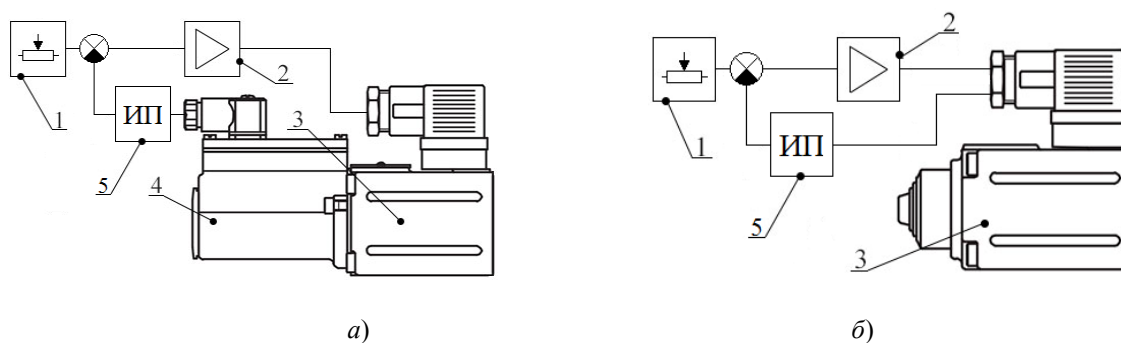


Рис. 2. Способы построения систем управления:

1 – задающее устройство; 2 – регулирующий усилитель; 3 – ПМ; 4 – датчик обратной связи по положению якоря; 5 – измерительный преобразователь

Первый вариант построения систем управления (см. рис. 2, *a*) может компенсировать гистерезис магнита в пропорциональных системах с достаточно высокой точностью, но в зависимости от точности позиционирования имеют значительное приращение в стоимости по сравнению со вторым способом управления (см. рис. 2, *б*).

При использовании известных систем пропорционального управления, где требуется периодическое, циклическое или эпизодическое перемещение золотника распределителя (вперед-назад), гистерезис, как правило, вносит свое влияние в виде автоколебаний или задержек и неточного позиционирования исполнительных органов.

Потребитель и департамент дорог, как правило, задается следующими основными параметрами для комбинированной дорожной машины (КДМ): максимальная рабочая скорость движения КДМ; максимальная плотность пескосолераспределения; максимальная ширина распределения противогололедных материалов (ПГМ). Для большинства типовых трассовых КДМ эти параметры, соответственно, следующие: 50 км/ч, 500 г/м², 12 м. Для указанных выше параметров типовой максимальный расход на секцию подачи ПГМ имеет значение около 45 л/мин. Предположив, что исполнительные

рабочие органы идеальны, можно привести семейство функций расхода жидкости секции подачи ПГМ в зависимости от скорости движения КДМ и ширины разброса ПГМ в автоматическом режиме, исходя из следующего выражения:

$$Q_{i,j} = KW_i PLV_j, \quad (1)$$

где $Q_{i,j}$ – значение расхода секции подачи ПГМ; K – коэффициент пропорциональности, учитывающий особенности конструкции подающего механизма ПГМ и его гидравлического привода (определяется экспериментальным путем); W_i – заданная ширина распределения ПГМ; PL – заданная плотность распределения; V_j – скорость движения шасси КДМ.

Как правило, при движении по трассе водитель КДМ редко изменяет ширину и плотность распределения ПГМ, в связи с чем эти величины можно учитывать как параметры, а аргументом функции расхода является скорость движения шасси. Семейство характеристик расхода для трех типовых значений ширины распределения ПГМ при плотности 500 г/м^2 представлены в [2].

Для организации сигнала управления ПМ, с учетом параметров гистерезиса ПМ, по заданному алгоритму требуется аналитическое описание восходящей и нисходящей ветвей характеристики. На основании [2] эти характеристики можно описать, используя следующую зависимость:

$$Q(I) = AI^4 + BI^3 + CI^2 + DI^1 + E, \quad (2)$$

где A, B, C, D, E – коэффициенты, вычислив которые можно получить итоговую зависимость расхода рабочей жидкости (РЖ) от значения управляющего тока ПМ.

С учетом вышеизложенного предлагаемый способ компенсации гистерезиса представлен графически на рис. 3. Пусть в первоначальный момент времени расход РЖ гидромотором составляет $Q1$, который соответствует $I1$, току, приложенному к ПМ (точка 1, рис. 3). Если необходимо увеличить расход гидромотора (переход от точки 1 к точке 2 на рис. 3), то необходимо сначала выполнить расчет нового расхода гидромотора $Q_{\text{новое}}$ по формуле (2), а затем вычислить значение управляющего тока ПМ как переменную уравнения (3) для восходящей ветви регулирования, подставив в уравнение новое значение расхода $Q_{\text{новое}}$. В этом случае приращение тока ПМ (управляющее воздействие) будет равно: $\Delta I = I2 - I1$.

Если необходимо уменьшить расход гидромотора (например, выполнить возврат к начальному расходу $Q1$ (из точки 2 в точку 1)), необходимо выполнить следующее:

- 1) вычислить новое значение расхода гидромотора $Q_{\text{новое}}$ по формуле (1);
- 2) подставив $Q_{\text{новое}}$ в уравнение (2) для нисходящей ветви регулирования, вычислить значение тока $I4$. В этом случае управляющее воздействие будет равно: $\Delta I = I2 - I4$;
- 3) также необходимо перевести алгоритм на восходящую ветвь регулирования. Для этого необходимо расход $Q_{\text{новое}}$ подставить в уравнение (2) для восходящей ветви регулирования и вычислить новое значение тока ПМ.

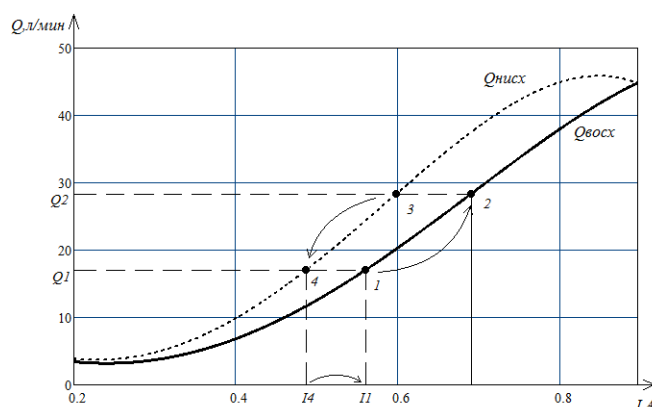


Рис. 3. Графическое отображение алгоритма нахождения управляющего воздействия

В результате обобщения изложенного можно сделать следующие выводы:

1. В работе приведены зависимости влияния гистерезиса ПМ на погрешность распределения противогололедных материалов в автоматическом режиме поддержания заданной плотности пескосолераспределителя КДМ.

2. Предложен вид аппроксимирующей зависимости нисходящей и восходящей ветвей характеристики пропорционального регулятора расхода в виде полинома 4-й степени.

3. Среднеквадратичная погрешность аппроксимации реальной зависимости нисходящей и восходящей ветвей регулирования ПМ составила менее 6 %.

4. Предложенный алгоритм компенсации влияния гистерезиса на характеристику регулятора расхода гидрожидкости при работе в автоматическом режиме поддержания заданной плотности посыпки позволяет снизить ее неравномерность в 5–6 раз при прочих равных условиях.

5. Предложенный алгоритм обеспечивает минимальное перерегулирование при изменении оперативного управляющего воздействия от системы контроля и управления, что позволит работать исполнительным органам без существенных колебаний с сохранением динамических свойств и диапазона регулирования.

Литература

1. Scholz, D. Proportional hydraulics / D. Scholz. – Copyright by Festo Didactic GmbH & Co. – Denkendorf, 2002. – 124 p.
2. Анализ влияния гистерезиса пропорционального электромагнита на погрешность пескосолераспределения комбинированной машины в автоматическом режиме / А. В. Ковалев [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 1. – С. 58–64.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТРЕКИНГА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Е. А. Ильющиц

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. В. Крышнев

В настоящее время для определения координат и параметров движения используются спутниковые навигационные системы. Совершенствование систем навигации

подвижных наземных объектов возможно за счет применения систем, принцип действия которых основан на использовании новых технологий. В качестве таких систем целесообразно рассмотреть определение координат при помощи базовых станций сотовых операторов, а также показаний акселерометров и гироскопа. Суть идеи заключается в попеременном использовании различных способов определения координат [1]–[4]. Основная система – GPS/ГЛОНАСС. В случае ее отказа координаты определяются инерциальной системой (акселерометр, гироскоп), при превышении времени использования инерциальной системы (2–3 мин, так как накапливается большая ошибка из-за двойного интегрирования) включается система определения координат, использующая вышки сотовых операторов (рис. 1) [5]–[9].

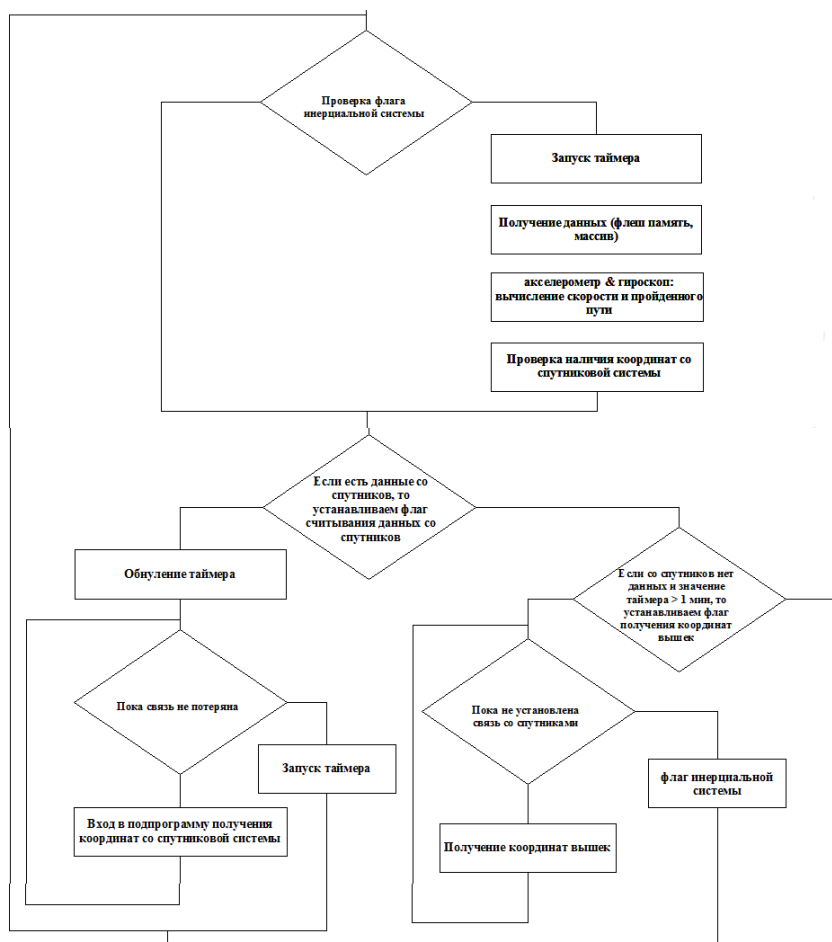


Рис. 1. Блок-схема, поясняющая принцип работы

Для анализа возможности использования базовых станций сотовых операторов для определения примерных координат нахождения были взяты трассы Гомель–Жлобин и Гомель–Светлогорск. На рис. 2 изображена доступность сотовой связи на протяжении этих дорог.

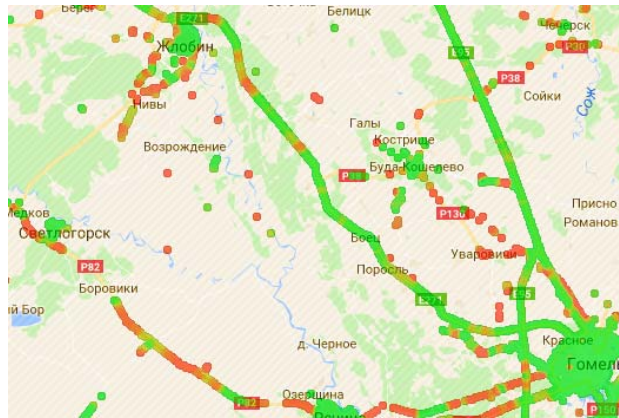


Рис. 2. Доступность сотовой связи

На рис. 3 изображен пример определения при использовании базовых станций сотовых операторов. Базовые станции показаны звездой, маркером – усредненное местонахождение.

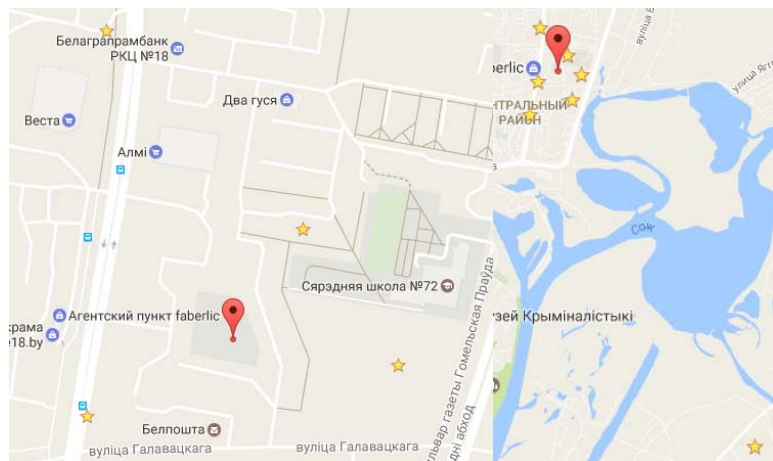


Рис. 3. Определение координат

На рис. 4 и 5 изображен пример определение скорости и расстояния при использовании инерциальной системы.

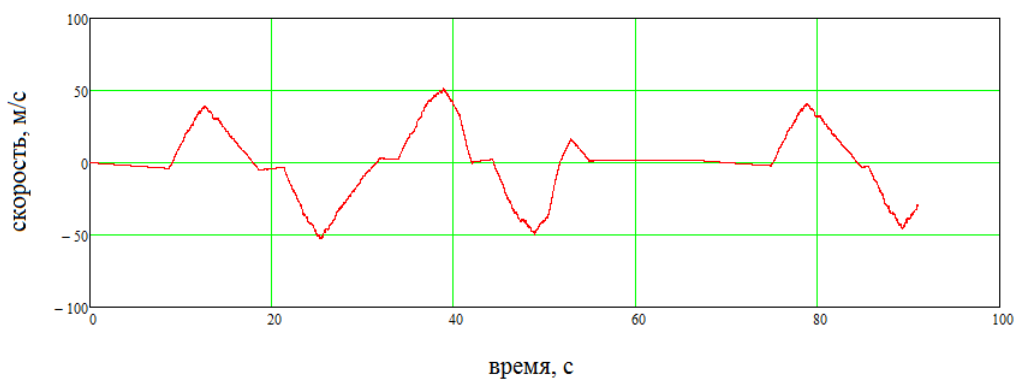


Рис. 4. Определение скорости

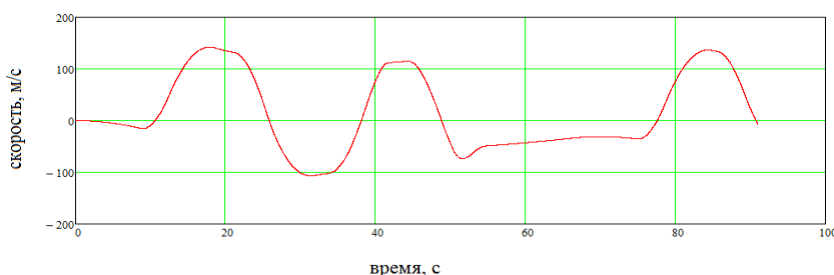


Рис. 5. Определение расстояния

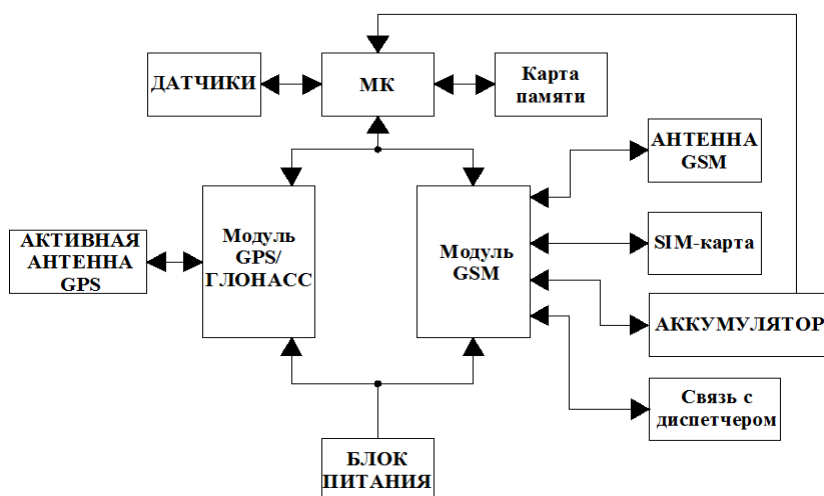


Рис. 6. Структурная схема разработанного блока мультимедийной системы трекинга транспортных средств

На рис. 6 изображена структурная схема разработанного блока мультимедийной системы трекинга транспортных средств.

Литература

1. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPSNAVSTAR и ГЛОНАСС / В. С. Яценков. – М. : Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.
2. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / В. А. Болдин [и др.]. – М. : ИПРЖР, 1998.
3. Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга. – Режим доступа: <http://www.sdcm.ru/>. – Дата доступа: 17.01.2016.
4. Mouly, M. The GSM System for Mobile Communications / M. Mouly, M. B. Pautet, 1992. – P. 702.
5. Громаков, Ю. А. Сотовые системы подвижной радиосвязи. Технологии электронных коммуникаций. Т. 48 / Ю. А. Громаков. – М. : Эко-Трендз, 1994.
6. Mehrotra, A. Cellular Radio: Analog and Digital Systems / A. Mehrotra. – Artech House, Boston-London, 1994. – P. 460.
7. Heger, W. GSM vs. CDMA. GSM Global System for Mobile Communications. Proceedings of the GSM Promotion Seminar 1994 GSM MoU Group in Cooperation with ETSI GSM Members / W. Heger. – 15 December, 1994. – P. 3.1-1–3.1-18.
8. Folded MEMS Pyramid Inertial Measurement Unit / S. A. Zotov [et al.] // IEEE SENSORS JOURNAL. – Vol. 11, no. 11, NOVEMBER, 2011. – P. 2780–2789.
9. Groves, P. D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems / P. D. Groves. – Artech Hous, 2008. – 505 p.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ, РАССЕЙВАЕМОЙ КРИСТАЛЛОМ МОЩНЫХ IGBT-МОДУЛЕЙ, ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ ГРАДИЕНТУ

Т. Рутковскис

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. Н. Кухаренко

Введение. Цель метода: разработка методики защиты полупроводниковых устройств от перегрева, определение мощности, рассеиваемой кристаллом, на основе калориметрического метода.

Одной из основных причин отказов силовых IGBT-модулей является перегрев, приводящий к плавлению припоя под кристаллом, а также растрескиванию кристалла и его смещению.

В наибольшей мере эта проблема относится к устройствам, работающим в тяжелых условиях эксплуатации – на транспорте и в энергетике.

Для предотвращения выхода из строя оборудования предъявляют высокие требования не только к IGBT-модулям, но и к драйверам, которые контролируют температурные режимы.

Контроль рассеиваемой мощности позволяет анализировать состояние потерь в IGBT-модулях. Так как модули состоят из нескольких пар ключей (IGBT-транзисторов), работающих на высоких частотах, наиболее рационально определять мощность путем превращения ее в тепловую энергию с последующим измерением температуры радиатора.

Для защиты IGBT-модуля выбран калориметрический метод косвенного определения рассеиваемой мощности кристалла. Применение этого метода оправдано простотой превращения энергии электрического тока в теплоту. Полагается, что измеряемая мощность пропорциональна отношению тепловой энергии к времени разогрева либо пропорциональна произведению теплоемкости рабочего тела и скорости приращения температуры.

Теплоемкость определяется экспериментально при заданной мощности и скорости приращения температуры. Полученное значение теплоемкости в дальнейшем используют в качестве константы, предположив, что энтальпия в металлах крайне мала.

Таким образом, данное предположение можно записать в следующем виде:

$$P = \frac{Q}{dt} = C \frac{d\theta}{dt}, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, Дж; C – теплоемкость рабочего тела, Дж/°С; $d\theta$ – приращение температуры рабочего тела, °С; t – время, с.

Выражение (1) справедливо только при идеальной теплоизоляции рабочего тела.

Описание проведения эксперимента по определению теплоемкости. В эксперименте использован IGBT-транзистор IHW20N135R5XKSA1, помещенный в измерительную установку, которая имитирует реальные условия работы полупроводникового прибора. Эта установка позволяет определить значение теплоемкости и мощность рассеивания.

На рис. 1 представлена структура измерительной установки с размещенным в ней IGBT-транзистором.

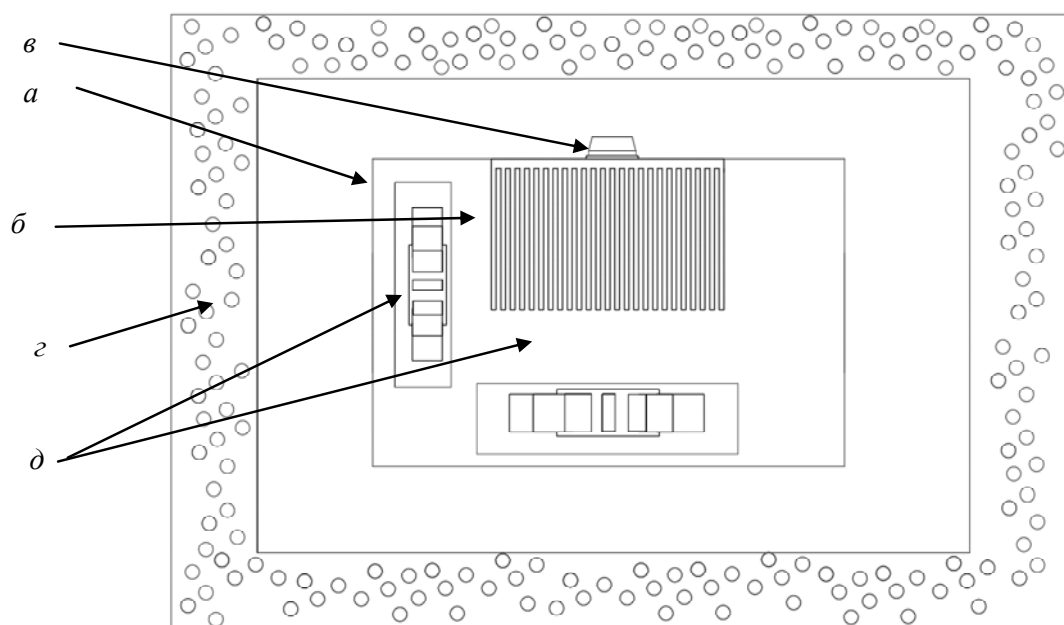


Рис. 1. Вид измерительного стенда:
 а – корпус; б – медный радиатор; в – IGBT-модуль;
 г – термоизоляционный материал (пенопласт); д – вентиляторы

В случаях, когда имеется плохая изоляция от теплообмена с окружающей средой, выражение (1) примет вид [2]:

$$P = C \frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta}{R_{\text{тп}}}, \quad (2)$$

либо

$$P = cm \frac{d\theta}{dt} + k_{\text{то}} S_{\text{охл}} \theta, \quad (3)$$

где P – мощность, рассеиваемая в рабочем теле; $\frac{d\theta}{dt}$ – скорость изменения температуры рабочего тела; θ – разность температуры рабочего тела и окружающей среды; $R_{\text{тп}}$ – тепловое сопротивление между рабочим телом и окружающей средой; $k_{\text{то}}$ – коэффициент теплоотдачи с поверхности (количество теплоты, рассеиваемое с 1 м^2 поверхности охлаждения рабочего тела в течение 1 с при разности между его температурой и температурой окружающей среды в $^{\circ}\text{C}$); $S_{\text{охл}}$ – площадь охлаждения.

Решая дифференциальное уравнение (3), при условии, что в начальный момент времени ($t = 0$) рабочее тело имеет некоторое превышение температуры θ_0 над окружающей средой:

$$\theta = \theta_1(1 - e^{-t/T}) + \theta_0 e^{-t/T}, \quad (4)$$

где T – постоянная времени.

При этом

$$T = cm / (k_{\text{то}} S_{\text{охл}}). \quad (5)$$

Измерения проводятся при постоянном токе на изолированном от теплообмена с окружающей средой стенде.

На рис. 2 показана зависимость скорости изменения температуры от времени при разных мощностях.

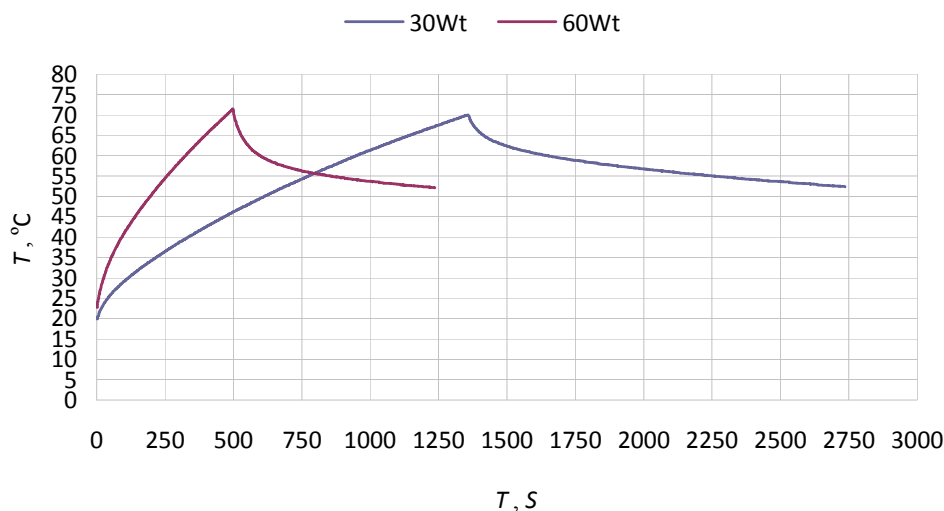


Рис. 2. График скорости приращения температуры

Проведя аппроксимацию функции скорости приращения температуры, получим выражение, подобное (4). Оттуда, определив постоянную времени T и зная максимальную температуру θ_1 , можно выразить теплоемкость c :

$$c = \frac{TP}{Q_1 m}. \quad (6)$$

Полученное экспериментальным путем значение теплоемкости является константой и может использоваться для определения мощности рассеивания по формуле (1) (для полупроводников, изолированных от окружающей среды) или по формуле (2) (с теплообменом).

Заключение. Предложенная методика защиты полупроводниковых устройств от перегрева на основе калориметрии позволяет определять мощность, рассеиваемую кристаллом по скорости приращения температуры и экспериментального измерения теплоемкости теплоотвода.

Данная методика является универсальной для различных полупроводниковых приборов.

Литература

1. Ремез, Г. А. Курс основных радиотехнических измерений / Г. А. Ремез. – М., 1966. – 159 с.
2. Измерение мощности на СВЧ / М. И. Билько [и др.]. – М. : Сов. радио, 1976. – 168 с.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПОДСВЕТКА ОПЕРАТОРСКОЙ ПАНЕЛИ МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Н. Н. Быков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Ковалев

В настоящее время необходимо часто контактировать с электронными устройствами различного назначения. Для работы и управления ими применяются устройства ввода, реализованные на различных принципах действия. Так как устройств, в которых применяются устройства ввода в виде клавиатуры, множество, то для них существуют различные требования в зависимости от особенностей сферы и среды их использования.

Основные характеристики клавиатур следующие: степень защищенности характеризует защищенность устройств от проникновения твердых предметов, пыли и воды (IP54, IP67...); защищенность от агрессивных сред характеризует устойчивость клавиатуры при воздействии на нее таких сред, как масло, растворители, пар, абразив и т. д.; рабочий диапазон температур – это верхняя и нижняя границы диапазона температур, в пределах которых устройство пригодно к эксплуатации и соответствует установленным характеристикам; усилие нажатия – это усилие, которое необходимо приложить к клавише для ее срабатывания; наличие ночной подсветки; размеры контактных площадок клавиш; формы клавиш; вибронегруженность; виброустойчивость – это способность изделия выполнять свои функции при воздействии вибрации.

Одним из важных параметров устройств ввода является наличие подсветки, которая позволяет использовать устройство как в ночное время, так и в условиях недостаточной освещенности.

Основные способы реализации ночной подсветки можно классифицировать следующим образом: местная подсветка с использованием световода; светодиодная подсветка; электролюминесцентная подсветка.

Местная подсветка – это подсветка с использованием внешнего источника света, например, лампа с отражателем и фокусировкой. К достоинствам можно отнести хорошую освещенность рабочей области и области вокруг нее, к недостаткам – увеличение габаритов рабочего места клавиатуры за счет размещения источника света над ней.

Световод устанавливается в корпусе клавиатуры под контактными площадками. Он представляет собой светопроводную пластину, у торца которой расположен светодиод. Свет светодиода рассеивается по всей площади пластины и подсвечивает рабочую область. К достоинствам можно отнести хорошую равномерность засветки рабочей области, к недостаткам – заметное увеличение толщины клавиатуры и трудоемкость ее сборки.

Светодиодная подсветка – это подсветка с использованием светодиодов, установленных под кнопками управления. К достоинствам можно отнести высокую надежность и низкое энергопотребление, к недостаткам – высокую стоимость и невозможность ее использования в сверхтонких панелях управления.

Электролюминесцентная подсветка выполняется в виде нанесения тонкого слоя люминофора между слоями пленочной клавиатуры, срок службы которой лежит в диапазоне от 5000 до 10000 часов. К достоинствам можно отнести гибкость, низкое энергопотребление, стойкость к воздействию окружающей среды, высокую равномерность засветки и возможность использования в сверхтонких панелях управления,

к недостаткам – необходимость использования для питания преобразователя высокого напряжения.

Исходя из вышеперечисленных достоинств и недостатков существующих вариантов подсветок, наиболее рациональным для организации плоской клавиатуры с подсветкой является электр люминофорный тип. Панель подсветки является плоским пленочным конденсатором с прозрачным электродом. Цвет свечения люминофора зависит от величины приложенного напряжения и частоты. Он может быть синим, зеленым, желтым и белым.

Для питания люминофора требуется напряжение от 100 до 300 В при частоте от 50 до 1000 Гц. Для обеспечения необходимого напряжения и частоты питания панели необходим импульсный преобразователь напряжения. Для этой цели можно использовать интегральную микросхему фирмы Microchip HV809SG-G, отличительной особенностью которой является возможность работы в широком диапазоне питающих напряжений. Микросхема обеспечивает питание и управление электр люминесцентными лампами емкостью до 350 нФ на частоте 400 Гц. Площадь поверхности лампы до 250 см².

Для организации высоковольтного преобразователя для электр люминесцентной подсветки на базе драйвера HV809G можно использовать две схемы включения (рис. 1 и 2).

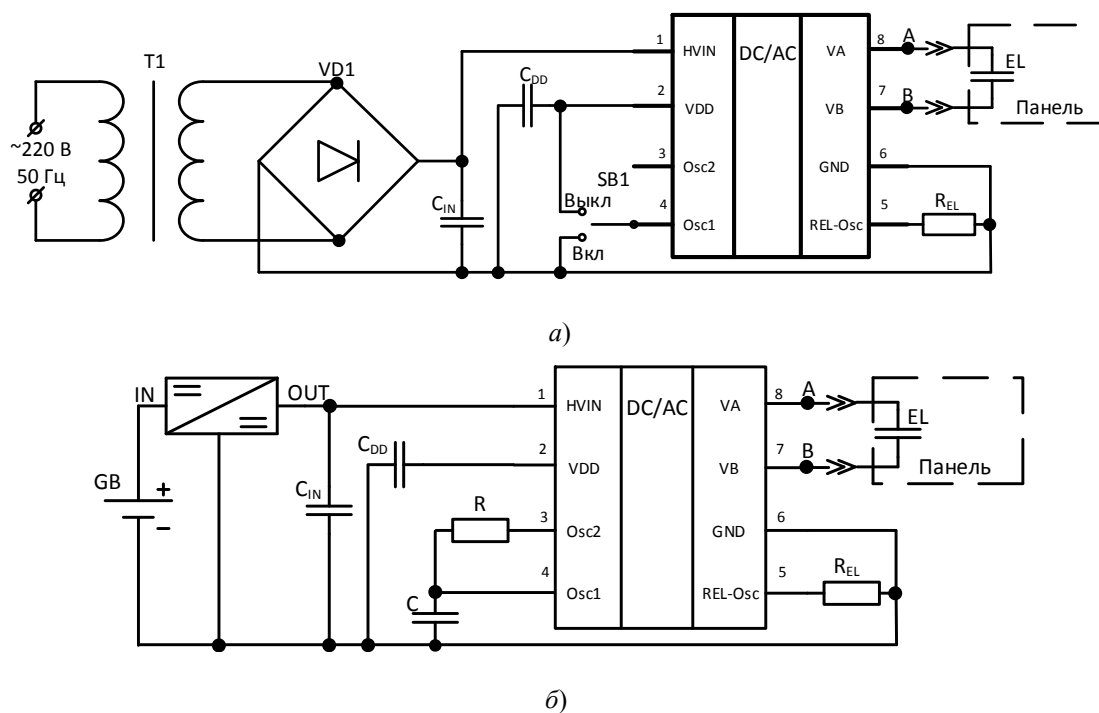


Рис. 1. Схемы организации высоковольтного преобразователя:
а – режим вкл/выкл; б – режим постоянного включения
при использовании в мобильных устройствах

В заключение можно отметить, что подсветка клавиатуры, выполненная с использованием люминофора, обладает рядом преимуществ – его низкая толщина и малое энергопотребление. К минусам можно отнести снижение яркости свечения со временем (ресурс ограничен) и наличие повышающего преобразователя.

Основные характеристики MicrochipHV809

Обозначение	Параметр	Минимальное значение	Типовое значение	Максимальное значение	Параметры схемы включения
I_{IN}	Максимальный ток питания, mA	–	–	70	$HV_{IN} = 170\text{ V}$, $R_{EL} = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 350\text{ nF}$
		–	–	9,0	
I_{INQ}	Потребляемый ток, μA	–	–	400	$HV_{IN} = 170\text{ V}$, $R_{EL} = 1\text{ M}\Omega$, Osc1 = GND, без нагрузки
		–	–	100	$HV_{IN} = 170\text{ V}$, $R_{EL} = 1\text{ M}\Omega$, Osc1 = V_{DD} , без нагрузки
$V_{OSC1(hyst)}$	Напряжение гистерезиса Osc1, V	–	2,5	–	–
V_{A-B}	Минимальное дифференциальное выходное напряжение, V	–	–	400	$HV_{IN} = 200\text{ V}$
V_{DD}	Внутреннее напряжение питания, V	8,0	10	12	Без нагрузки на V_{DD}
$I_{DD(OUT)}$	Выходной ток V_{DD} , mA	4,0	–	–	Для HV809, $\Delta V_{DD} = 1\text{ V}$

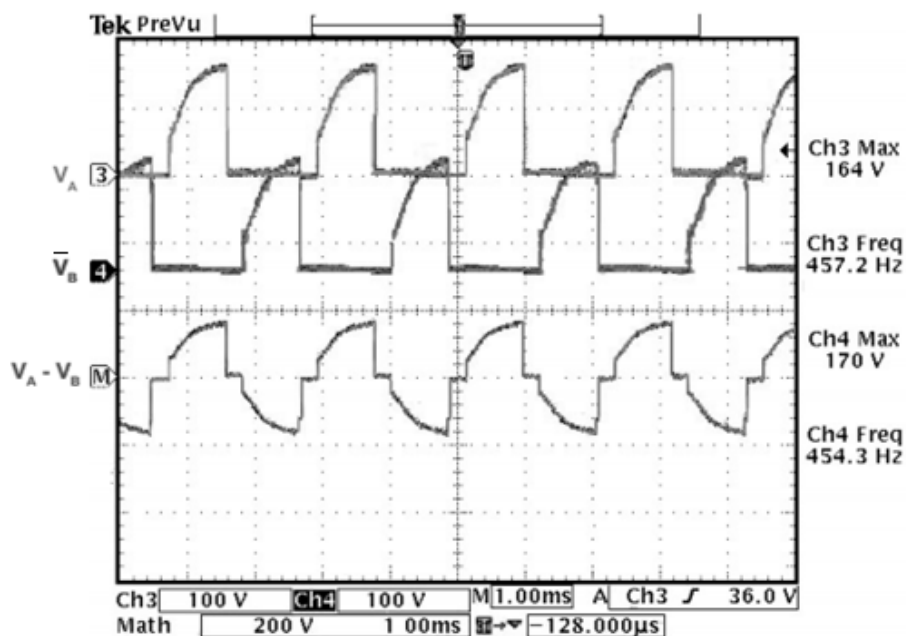


Рис. 2. Осциллограммы работы драйвера HV809G

Литература

1. Литвинов, Д. А. Импульсный преобразователь напряжения для электролюминофорной подсветки / Д. А. Литвинов, А. В. Ковалев, Д. А. Хананов // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 20–21 окт. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 156–157.
2. HV809SG-G Datasheet. – Режим доступа: <http://www.supertex.com/packaging.html>. – Дата доступа: 01.04.2017.

ИЗМЕРЕНИЕ БОЛЬШИХ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ ТОКА LEM ULTRASTAB

А. А. Козляковская

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: В. Н. Карпинский, Ю. В. Крышнев

Для контроля и управления работой источников питания магнитов и линз Нукло-трона необходима система мониторингования, которая должна обеспечивать большую точность измерений и их повторяемость. В качестве первичного преобразователя для высокоточных измерений был использован прецизионный датчик тока фирмы LEM, серия «ITZ 10000-S ULTRASTAB», внешний вид которого представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид прибора

Датчик тока LEM ITZ 10000-SULTRASTAB – датчик тока с фиксированным или программируемым коэффициентом преобразования для монтажа на стойку, предназначен для ультравысокоточных измерений. Этот датчик создан на основе технологии Closed loop Fluxgate IT type. Общая схема включения системы представлена на рис. 2.

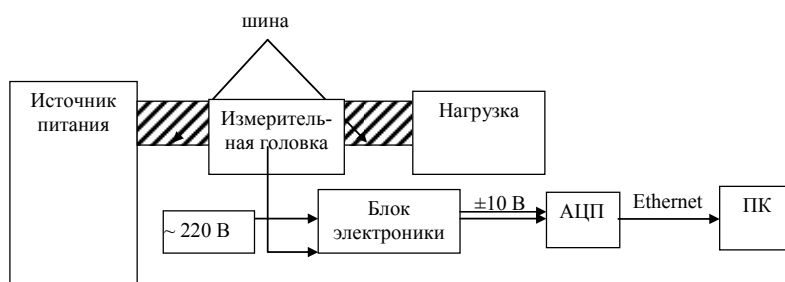


Рис. 2. Схема включения измерительной системы

Датчики IT являются высокоточными датчиками тока с широким частотным диапазоном и не используют элемент Холла. Магнитный поток, создаваемый первичным током I_p (рис. 3), компенсируется вторичным током. Детектор нулевого потока – симметричный детектор, использующий два магнитных сердечника с обмотками, связанными с генератором сигнала прямоугольной формы. Вторичный компенсирующий ток является точной пропорциональной копией первичного тока [1].

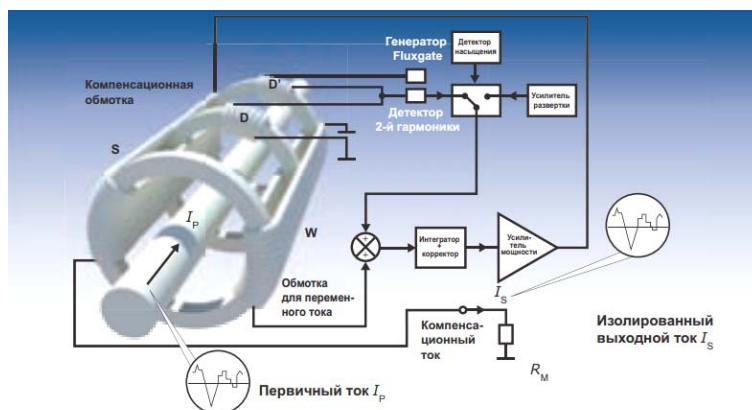


Рис. 3. Графическое описание датчика серии IT технологии Fluxgate

Программное обеспечение ZETLAB BASE, поставляемое с модулями ZET-220, позволяет приступить к процессу измерения и управления сразу после подключения модуля к персональному компьютеру. В него уже входят все необходимые программы для проведения испытаний и измерений по нескольким выбранным измерительным каналам, контроль измеряемых величин, вывод текущих измеряемых параметров на монитор ПК.

SCADA система ZETView – это среда разработки автоматизированных рабочих мест на базе ПК с использованием программной и аппаратной измерительной части. ZETView имеет два интерфейса работы и отображения: интерфейс проектирования и интерфейс оператора (рис. 4 и 5).

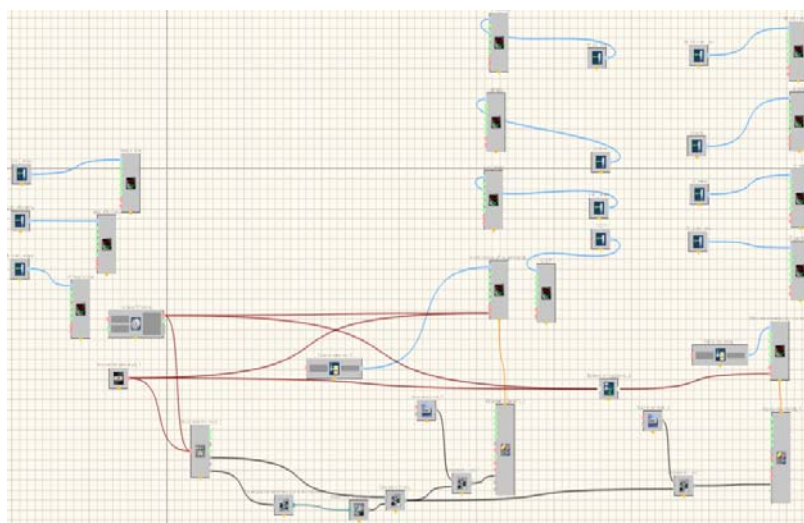


Рис. 4. Пример интерфейса проектирования

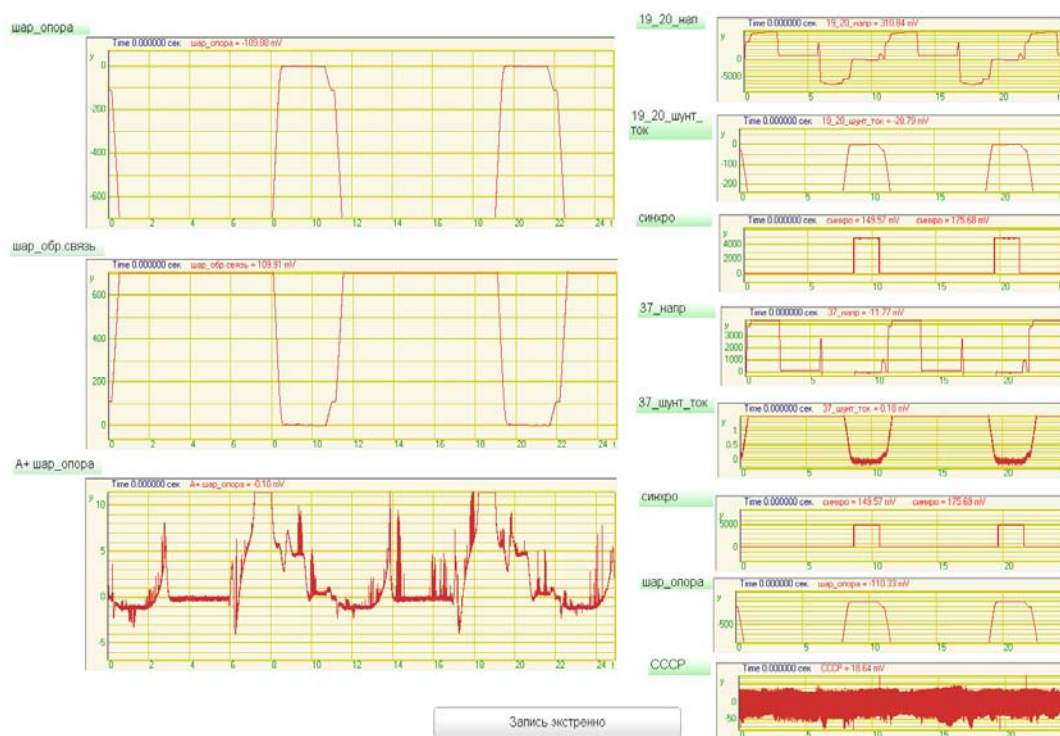


Рис. 5. Пример интерфейса оператора программы опроса параметров каналов источников питания

Для проверки возможностей датчика LEM ITZ 10000-S ULTRASTAB были разработаны две программы масштабного мониторинга и сбора данных от основных источников питания Нуклотрона, а также программы дополнительного мониторинга отдельных источников питания. По результатам сбора и оценки полученных данных, относительная погрешность измерения описанным выше способом не превышает 0,019 %.

Литература

1. Режим доступа: <http://www.lem.com/ru/ru>. – Официальный сайт представителя, дистрибьютора и производственного подразделения компании ЛЕМ в России.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ОАО «БМЗ»

А. С. Шинкарев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Л. В. Веппер

Анализ проблем технической диагностики показывает на тенденцию объединения задач измерения и постановки состояния оборудования электрических машин уже на базе автоматизированной системы комплексной диагностики, не только выполняющей измерения, но и указывающей на конкретные дефекты работающего оборудования [1].

Актуальной является задача контроля состояния для определения рациональных сроков и видов ремонтных воздействий. В черной металлургии эта задача решалась путем контроля температуры, наблюдений за изменением вибрации и анализа шумов механизмов. Контроль осуществлялся специалистами высокой квалификации, оснащенными простейшими приспособлениями и многолетним практическим опытом. Часто это не приводило к желаемым результатам и увеличивало затраты на содержание оборудования. В техническом обслуживании роторных машин вибрационный мониторинг и диагностика занимают особое место в силу своих возможностей обнаружения изменений состояния задолго до наступления аварийной ситуации. Системы вибрационного мониторинга и вибрационной диагностики чаще всего заменяют всю совокупность средств внешнего контроля, если эти средства не входят в комплекс систем управления. Задачей систем вибрационной диагностики как стационарных, так и переносных, в отличие от систем мониторинга, является минимизация всех затрат на саму систему и ее обслуживание, а также на обслуживание и ремонт всей группы диагностируемых машин [2], [3].

Измерение вибрации стало основой контроля технического состояния оборудования. Для этого вначале использовались механические виброметры, измеряющие амплитудное значение виброперемещения, в дальнейшем большее значение получил контроль виброскорости на базе электронных приборов.

В состав агрегатов, задействованных в технологическом процессе, входит большое количество узлов роторного типа. Вибродиагностика является эффективным способом неразрушающего контроля технического состояния узлов роторного типа, позволяет выявить явно выраженные (дисбаланс, расцентровку, недостаточную жесткость опор), зарождающиеся дефекты подшипниковых узлов, дефекты электромагнитной системы электрической машины и др.

Для оценки технического состояния и диагностики электрических машин используются следующие методы: «ПИК-фактора»; по спектру вибросигнала; метод спектра огибающей; метод ударных импульсов.

Метод ударных импульсов широко используется для диагностики электродвигателей прокатных станов, насосного оборудования. Во время работы оборудования проводится комплексная диагностика, которая включает виброконтроль в доступных местах с оценкой спектра вибрации. Одним из приборов, позволяющих производить виброконтроль, является «Leonova infiniti» (рис. 1).



Рис. 1. Прибор виброконтроля «Leonova infiniti»

Виброналадка, благодаря парку имеющегося оборудования на ОАО «БМЗ», позволяет существенно снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание роторного оборудования, ввиду того, что наладка происходит на месте эксплуатации технологического оборудования.

Виброналадка включает в себя:

- балансировку роторного оборудования в собственных опорах;
- выверку соосности и центровку валов;
- устранение дефектов узлов крепления.

Балансировка роторного оборудования – это процесс компенсации неуравновешенных масс ротора. Наличие неуравновешенных масс на роторе называется дисбалансом. Дисбаланс вращающихся масс ротора является одним из наиболее распространенных дефектов оборудования, обычно приводящих к резкому увеличению вибрации, нагрузке на подшипниковые опоры, отдельные узлы и механизмы в целом, что приводит к существенному снижению ресурса оборудования.

При возникновении дисбаланса мы наблюдаем изменение соответствующих вибрационных параметров, которые в силу своей высокой чувствительности отражают происходящее с механизмом. Как правило, при дисбалансе на спектре вибрации преобладает гармоника оборотной частоты.

Наличие дефектов в узлах крепления подшипников либо самой машины в целом приводит к повышенной вибрации и росту гармоник оборотной частоты в том направлении, в котором ослабли узлы крепления. Устранение дефектов узлов крепления позволяет: продлить срок службы подшипника; увеличить время работы, эффективность и производительность оборудования; снизить уровень шума, вибрации и количество потребляемой энергии; снизить расходы на замену компонентов и издержки, связанные с простоем машин.

Значительная часть поломок и в первую очередь подшипников вызвана расцентровкой валов. При несоосных валах возникает момент сил реакции, который приводит к повышенным нагрузкам на опоры и вызывает: износ подшипников; износ уплотнений; повышенное потребление энергии; увеличение уровня вибрации и шума; снижение работоспособности и надежности машин.

На практике расцентровка – это превышение допусков на центровку. Допуски на центровку задаются по двум параметрам – угловая несоосность и параллельное смещение. Чаще всего встречается смешенная расцентровка. Как правило, на расцентровку валов при проведении виброконтроля указывает наличие в спектре вибрации 1-й и 2-й гармоник оборотной частоты.

Для устранения расцентровки используется прибор «Easy Laser D525» (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид прибора «Easy Laser D525»

При тщательной выверке соосности валов машин непосредственно экономится:
– 7–12 % годовых затрат на приобретение запчастей (подшипники, манжеты, муфты);

– до 60 % затрат на восстановление валов и корпусных деталей;

– 5–12 % электроэнергии;

– значительно сокращаются убытки, связанные с простоем и ремонтом машин.

Проведение вибродиагностических и виброналадочных работ электрических машин позволяет избежать значительных затрат, связанных с ремонтом и эксплуатацией оборудования. Это позволяет говорить о том, что вибродиагностика вместе с виброналадкой является важнейшей целью профилактического техобслуживания, позволяющего продлить срок службы оборудования, сократить многочисленные расходы на его ремонт и эксплуатацию.

Литература

1. Гольдин, А. С. Вибрация роторных машин / А. С. Гольдин. – М. : Машиностроение, 1999. – 344 с.
2. Радчик, И. И. Комплексный подход к вопросам повышения надежности работы основного и вспомогательного оборудования современного металлургического производства / И. И. Радчик, В. М. Рябков, А. Е. Сушко // Оборудование. Техн. альманах. – 2006. – № 1. – С. 24–28.
3. Сидоров, В. А. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин / В. А. Сидоров, А. Е. Сушко // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 4. – С. 46–50.

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

В. С. Максимович, Ю. Н. Тулуп

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Погуляев

Введение. К современным системам электропитания, в составе различных технологий, предъявляется ряд требований, важнейшие из которых определяются статическими, динамическими и массогабаритными показателями.

Определение требований к качеству электроэнергии осуществляется разработчиками аппаратуры и обуславливается точностью устройств. По мере усложнения задач, решаемых электронной аппаратурой, происходит повышение требований к ее точности и, следовательно, к качеству электроэнергии.

Для устройств автоматики и вычислительной техники эти требования сводятся в основном к стабильности напряжения питания в статических и динамических режимах. Обеспечение требуемой стабильности напряжения питания производится за счет разработки соответствующих полупроводниковых преобразователей энергии. Повышение требований к стабильности напряжения приводит к усложнению схем преобразователей, что вызывает ухудшение массогабаритных, энергетических и других показателей. В настоящее время проявляется большой интерес к решению этих задач с помощью импульсного управления потоком электроэнергии на высокой частоте.

В зависимости от числа уровней базовых векторов напряжения трехфазной системы, которое мы можем получить на выходе преобразователя, а также в зависимости от способа их получения можно выделить несколько схем многоуровневых преобразователей с двумя основными топологиями построения силовых цепей: на базе многоуровневого автономного инвертора напряжения (МАИН) с несколькими уров-

ниями источника напряжения постоянного тока и каскадные многоуровневые преобразователи с последовательным соединением нескольких однофазных автономных инверторов напряжения (АИН) в выходных фазах. Многоуровневые преобразователи обеспечивают наилучшие энергетические показатели, однако схемы их содержат большое число ключей, сложны, громоздки и в итоге имеют более высокую стоимость в сравнении с другими типами ПЧ.

Трехфазный инвертор на базе трех однофазных мостовых схем. Возможны два варианта включения нагрузки в такой инвертор. Если у трехфазной нагрузки доступны оба конца каждой фазы, то отдельные ее фазы могут просто подключаться к выходу каждого однофазного моста. Если же доступно только три вывода нагрузки, то они подсоединяются к соответствующим выводам мостов, а оставшиеся свободными выходы инвертора соединяются в общую точку. Возможны различные варианты данной схемы. Так, каждый из однофазных мостов может питаться от общего источника постоянного напряжения (рис. 1, а) либо от отдельных источников (рис. 1, б), которые могут быть созданы, например, путем применения многообмоточного трансформатора. Выходы каждого Н-моста могут непосредственно подключаться к нагрузке (рис. 1, б) либо посредством трансформаторной развязки (рис. 1, а).

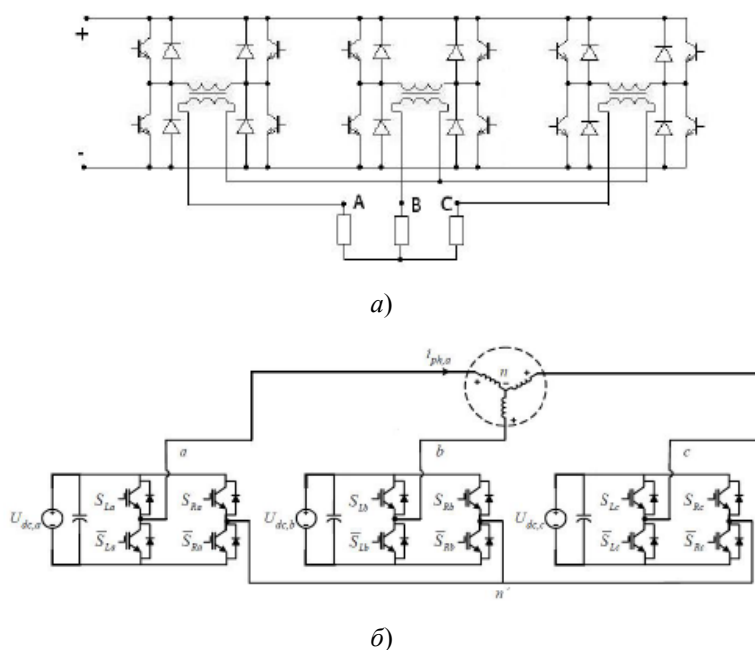


Рис. 1. Трехфазный инвертор на базе трех однофазных мостовых схем: а – с трансформаторной развязкой выхода; б – с непосредственным подключением нагрузки

Трехфазные инверторы на базе однофазных мостовых схем можно назвать одноступенчатыми с ШИМ, так как их выходное напряжение в каждой полуволне имеет только одну ненулевую ступень напряжения (E), как и модуль базового вектора напряжения.

Трехфазный мостовой инвертор. Самая простая и самая распространенная схема трехфазного инвертора получается простым объединением трех полумостовых однофазных инверторов (рис. 2).

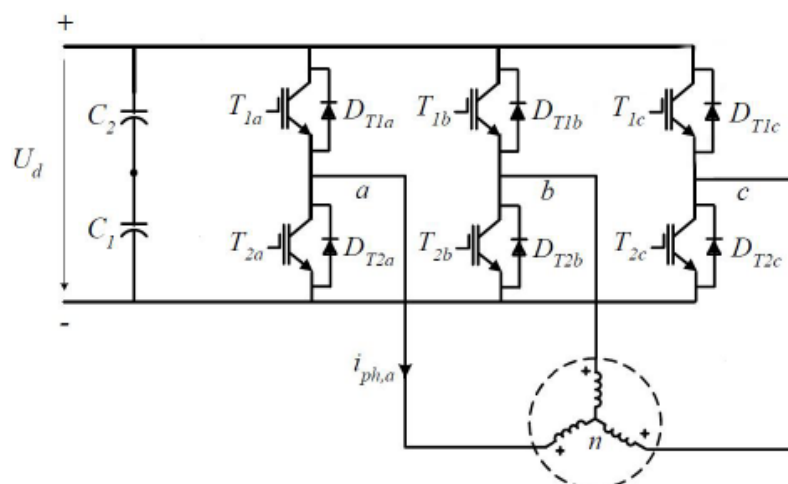


Рис. 2. Трехфазный мостовой инвертор напряжения

Данная схема считается одноуровневым инвертором напряжения (так как позволяет получить на выходе только один уровень базового вектора), но в отличие от однофазной мостовой уже имеет по модулю два ненулевых уровня в кривой фазного напряжения ($E/3$ и $2E/3$ – двухступенчатый инвертор). При этом электромагнитные нагрузки на коммутационные приборы не отличаются от соответствующих нагрузок в рассмотренной ранее схеме. Вид кривой фазного напряжения определяется алгоритмом управления. Силовая схема инвертора может находиться в восьми состояниях (шесть активных, когда включены два транзистора катодной группы и один анодной (и наоборот), и два нулевых, когда включены все три транзистора одной из групп). Синтез алгоритма управления сводится к заданию порядка смены состояний и длительности пребывания в каждом из них. Данные схемы позволяют реализовать одноуровневые алгоритмы управления. Дальнейшее улучшение гармонического состава достигается увеличением числа ступеней в выходном напряжении и увеличением, соответственно, числа уровней модуля базовых векторов напряжения. По этому признаку различают многоуровневые инверторы напряжения (трехуровневые, пятиуровневые, семиуровневые). Технически это достигается, как было изложено выше, добавлением к методу ШИМ еще и метода амплитудной модуляции. Последнее возможно только при наличии нескольких уровней напряжения у входного источника питания.

Трехуровневый трехфазный инвертор. Схема трехуровневого трехфазного инвертора напряжения представлена на рис. 3. Здесь каждое плечо классического трехфазного инвертора состоит из двух последовательно включенных полностью управляемых вентилях, шунтированных обратными диодами. Дополнительные диоды соединяют нулевую точку источника входного напряжения со средними точками плеч инвертора, образованные последовательно соединенными вентилями. С помощью различных комбинаций ключей можно реализовать три варианта схемы замещения инвертора, аналогичные изображенным на рис. 4. На основании схем замещения для данного преобразователя можно выделить четыре ненулевых ступени в кривой фазного напряжения ($U_{вх}/6$, $U_{вх}/3$, $U_{вх}/2$, $2U_{вх}/3$). Модуль базовых векторов в данной схеме может иметь три фиксированных значения ($U_{вх}/3$, $U_{вх}/\sqrt{3}$, $2U_{вх}/3$). Таким образом, трехуровневый инвертор, имея в три раза большее (восемнадцать) число возможных положений обобщенного вектора напряжения, чем одно-

уровневый инвертор, позволяет более качественно сформировать кривую напряжения на нагрузке за счет использования еще и амплитудной модуляции обобщенного вектора напряжения.

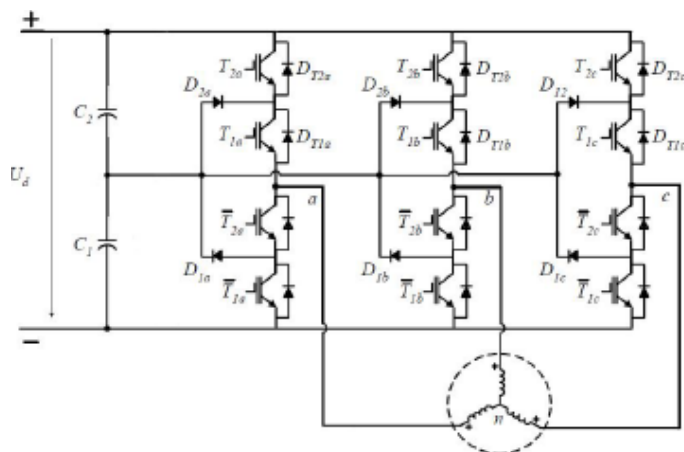


Рис. 3. Трехуровневый трехфазный инвертор

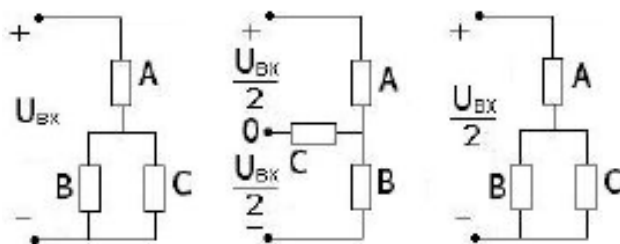


Рис. 4. Схемы замещения трехуровневого трехфазного инвертора

Заключение. Проведенный анализ показывает перспективность импульсно-модуляционных преобразователей, которые с ростом коммутируемой мощности и динамических показателей становятся основным инструментом для реализации практически всех видов преобразования параметров электрической энергии. Существенное снижение динамических потерь в полностью управляемых полупроводниковых приборах позволяет улучшить электромагнитную совместимость, снизить загрузку питающих сетей неактивными составляющими мощности.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

А. В. Блинков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Погуляев

Традиционно в качестве тягового электропривода использовался привод на основе двигателя постоянного тока. С развитием полупроводниковых технологий доминировать стали тяговые привода переменного тока. Выделим следующие типы двигате-

лей, конкурирующих между собой в качестве тяговых: асинхронный двигатель; синхронный двигатель с контактными кольцами; синхронный двигатель с постоянными магнитами; вентильно-индукторный двигатель с самовозбуждением (ВИД СВ); вентильно-индукторный двигатель с независимым возбуждением (ВИД НВ).

Недостатками асинхронных двигателей являются: крупные габариты; сложность отвода тепла от ротора, в котором выделяется большая часть потерь; невозможность прямого замера температуры ротора и обеспечение своевременной защиты от перегрева.

Синхронный двигатель с контактными кольцами с точки зрения управления – это очень удобная машина, но наличие контактов увеличивает габариты и снижает надежность.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами имеет самый высокий КПД по сравнению с остальными типами машин, лучшие удельные массогабаритные показатели. Его существенный недостаток – поле возбуждения не регулируется. Редкоземельные магниты дороги, очень сложны в монтаже, хрупки, а также ограничивают перегрев машины вследствие риска их размагничивания, а также имеют свойство размагничиваться со временем.

Вентильно-индукторный двигатель с самовозбуждением имеет простейшую конструкцию. Отсутствие лобовых частей вследствие применения сосредоточенных обмоток позволяет уменьшить стоимость двигателя.

Недостатки ВИД СВ: для этих двигателей требуется специализированный силовой преобразователь для однополярного питания нужного количества фаз двигателя; повышенный шум, вибрация, пульсации момента вследствие явнополюсной структуры магнитопровода и как следствие инвертор рассчитывается на большой ток.

Вентильно-индукторный двигатель с независимым возбуждением по своим характеристикам сходен с синхронным двигателем с контактными кольцами. У этого вида двигателей кольцевая обмотка возбуждения расположена на статоре и не подвижна. Обмотку статора выполняют распределенной для применения векторной системы управления на больших скоростях вращения.

Вентильно-индукторный двигатель с независимым возбуждением обладает следующими преимуществами: отсутствие скользящего контакта; низкая стоимость изготовления; широкий диапазон постоянства мощности; отсутствие перемагничивания ротора, а значит и отсутствие потерь в нем; большая часть потерь выделяется на статоре, а с него отводить тепло проще; применение для управления машиной тех же алгоритмов, которые классически используются для синхронных машин (векторное датчиковое и бездатчиковое управление); использование стандартного трехфазного инвертора в управляющем преобразователе.

Вентильно-индукторному двигателю с независимым возбуждением присущ ряд недостатков: затруднен синтез бездатчиковой системы управления для сверхнизких и нулевых частот вращения; замыкание магнитного потока возбуждения по подшипниковым щитам, в обход магнитопровода статора. Наличие такого паразитного пути замыкания потока возбуждения может приводить к преждевременному выходу из строя подшипников качения. Для предотвращения этого применяют различные немагнитные материалы в конструкции машины. Однако в тяговом применении крепление двигателя часто осуществляется через подшипниковый щит (мотор-колесо, мотор-редуктор). Вследствие этого немагнитный материал для щита должен также обладать необходимой механической прочностью, что сильно затрудняет выбор материала и в конечном счете приводит к удорожанию машины; сложность установки опущенной обмотки возбуждения.

В данной работе в качестве тягового привода выберем двухпакетный односекционный ВИД НВ с опущенной обмоткой возбуждения и распределенной трехфазной обмоткой статора. Критериями выбора были надежность, массогабаритные показатели и диапазон регулирования с постоянством мощности.

Были рассмотрены две системы управления: вентильный режим с автокоммутицией по датчику положения ротора и векторное управление с датчиком положения.

Первый вариант системы управления легок в реализации. От нее требуется только блок коммутации фаз в зависимости от угла положения ротора и блок токоограничения. Вентильный режим имеет хорошую динамику контура тока. За счет релейного управления токами фаз время отработки задания тока очень мало и ограничивается лишь физическим процессом нарастания тока, а не инерционностью системы управления (по сравнению с ПИ-регулятором). К недостаткам данного метода можно отнести неоднозначность настройки углов коммутации и уровня тока от частоты вращения и нагрузки. Известно, что угол включения и выключения фазы можно настраивать по совершенно различным методикам – одни направлены на уменьшение шума, другие – на уменьшение уровня тока, третьи – на улучшение КПД. Причем углы коммутации для обеспечения выбранного оптимума должны изменяться как от частоты вращения (классически), так и от нагрузки. Вычисление или экспериментальное определение таких зависимостей представляет собой трудную задачу. Этому методу присущи шум и большие пульсации момента.

Также было рассмотрено векторное датчиковое управление с ПИ-регуляторами тока. По сравнению с режимом автокоммутиации не требуется подбирать сложные нелинейные зависимости для обеспечения оптимальной работы. Векторное управление оперирует синусоидальными величинами, в результате чего момент двигателя имеет минимум пульсаций по сравнению с режимом автокоммутиации.

Необходимо выбрать координату, по которой будет управляться привод при помощи педали акселератора. Тут были проанализированы возможность задания скорости, задания мощности, задания момента и задания тока статора. Выбор остановился на задании момента. При таком способе колеса транспортного средства могут вращаться с разной скоростью, момент на них будет одинаковый, что обеспечит нейтральную поворачиваемость.

Была синтезирована структура, преобразующая задание момента в задание токов I_d , I_q и I_f (ток вдоль оси d , моментобразующий ток статора и ток возбуждения соответственно). Важным моментов в этой структуре является совместное управление токами I_q и I_f . Традиционный режим ослабления поля, когда до определенной частоты вращения ток возбуждения равняется номинальному и остается постоянным, а выше этой частоты начинает уменьшаться, для тягового привода, двигателя которого предназначены для работы в перегрузе, не пригоден. Если за номинальный ток принять длительно допустимый, то двигатель не сможет развить максимальный момент. Если же за номинальный ток принять максимально допустимый, то обмотка возбуждения перегреется даже на холостом ходу. Кроме того, постоянно поддерживающийся на максимальном уровне ток возбуждения создает дополнительные потери и ухудшает КПД. Единственно-возможным является пропорциональное изменение тока статора и тока возбуждения (программная имитация машины последовательного возбуждения). Таким образом, синтезируемая система должна из задания момента сформировать пропорциональные величины задания токов $i_{q\text{зад}}$ и $i_{f\text{зад}}$.

Расширение диапазона регулирования частоты вращения вверх было достигнуто за счет управления током по оси d . Ток оси d не влияет на момент двигателя, однако создание отрицательного тока оси d позволит уменьшить прикладываемое

к двигателю напряжение, не уменьшив при этом момент. А значит, при нехватке напряжения на инверторе на высокой частоте вращения создание отрицательного тока по оси d позволит реализовать заданный момент, несмотря на первоначальную нехватку напряжения. Такой метод называется ослаблением поля двигателя током статора. Он успешно применяется для синхронных машин с постоянными магнитами, для которых этот метод является единственно возможным при работе на высокой скорости. Для ВИД НВ этот метод нужен лишь для увеличения максимальной мощности в зоне высоких скоростей.

Синтезированная структура является надстройкой над традиционной векторной системой управления и обеспечивает возможность успешного применения ВИД НВ в электротяге.

Был рассмотрен ряд мер по повышению энергоэффективности тяговых приводов за счет уменьшения потерь в инверторе преобразователя. Первый способ основан на изменении частоты ШИМ в зависимости от тока статора. Второй способ заключается в выборе нулевого вектора при использовании векторной ШИМ.

Первый способ. Для обеспечения желаемой тяговой характеристики требуется спроектировать преобразователь одновременно и на большой ток для обеспечения большого момента «внизу», и на большое напряжение и частоту для обеспечения требуемой мощности «наверху» тяговой характеристики. Для качественного формирования синуса напряжения инвертором требуется достаточная для этого частота ШИМ, превышающая более чем на порядок частоту формируемого напряжения. Потери в ключах возрастают с ростом частоты и величины коммутируемого тока. Согласно тяговой механической характеристике, на высокой частоте вращения не требуется большой ток, а на низкой частоте вращения не требуется высокая частота ШИМ. Рационально изменять частоту ШИМ в зависимости от тока или частоты вращения привода.

Второй способ. Обычно для работы выбирается какой-то один нулевой вектор (000 – все нижние ключи замкнуты, так называемая «привязка к нижней шине», или 111 – все верхние ключи замкнуты, так называемая «привязка к верхней шине»). Выбор того или иного нулевого вектора не влияет на выходное напряжение. Алгоритм снижения потерь анализирует токи фаз инвертора и выбирает тот нулевой вектор, при котором ключ этой фазы не будет коммутироваться.

На разработанной компьютерной модели тягового двигателя и его системы управления была проверена работоспособность синтезированных структур управления в пакете MATLAB/Simulink. Принятые меры по уменьшению динамических потерь в ключах инвертора позволили снизить потери в силовых транзисторах на 15–20 %.

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ УЛУЧШЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

А. С. Третьяков, О. А. Капитонов

*Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь*

Научный руководитель Г. С. Ленецкий

В настоящее время одним из направлений разработок кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» является разработка комплектных энергоэффективных электроприводов на базе асинхронных электродвигателей улучшенной конструкции.

Данные электродвигатели представлены в электромехатронном исполнении, что означает размещение в клеммной коробке силового преобразователя энергии с микропроцессорной системой управления. На данный момент в рамках госбюджетной программы разрабатывается асинхронный электродвигатель трехроторной электромеханики (рис. 1) [1].

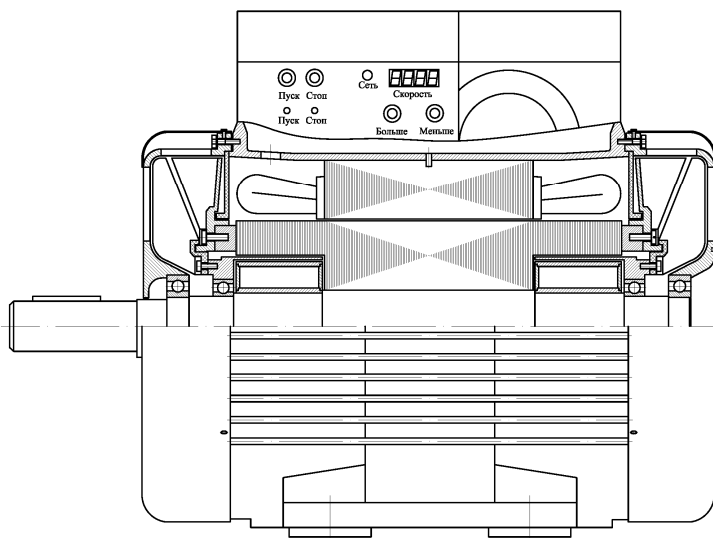


Рис. 1. Асинхронный электродвигатель трехроторной электромеханики

Прототипом разрабатываемой электрической машины является асинхронный общепромышленный электродвигатель АРИС100S4. В основе разработки лежит модифицированный силовой ротор, выполненный удлиненным по отношению к статору и выходящий за пределы подшипниковых щитов. В его торцах сделаны углубления, в которых на подшипниках располагаются малые роторы. В зонах воздушного охлаждения располагаются вентиляторы: на торцах силового ротора монтируются вентиляторы-теплорассеиватели (выполняются из алюминия), на торцах малых роторов – вентиляторы-охладители (выполняются из пластика). Вентиляторы малых роторов вращаются с постоянной скоростью независимо от силового ротора, что позволяет обеспечить приток охлаждающего воздуха даже при заторможенном силовом роторе. Это позволяет более интенсивно выводить потери из электродвигателя, тем самым давая возможность внести изменения в конструкцию магнитопровода статора, что позволит увеличить ток статора, и в конечном счете – снимаемую с вала электродвигателя по отношению к прототипу.

Для исследования тепловых, вентиляционных, электромагнитных и энергетических режимов асинхронных электродвигателей был разработан научно-исследовательский комплекс [2].

Для исследования энергетических режимов при питании асинхронного электродвигателя от синусоидального источника питания используются приборы фирмы ОВЕН КМС-1Ф.

Для исследования энергетических режимов при питании асинхронного электродвигателя от несинусоидального источника питания используется блок ввода аналоговых сигналов, представляющий собой цифровое микропроцессорное устройство, считывающее показания с датчиков тока и напряжения в режиме реального времени, обрабатывающее и отображающее экспериментальные данные в режиме

реального времени на экране монитора с помощью специализированного программного обеспечения.

Рассматриваемое программное обеспечение имеет широкий функционал: измерение полной, активной, реактивной мощностей, тока, напряжения, коэффициента мощности и т. д. Причем данные могут сниматься с трех фаз сразу с последующей их обработкой.

Такая конструкция позволяет также исследовать электромагнитную совместимость рассматриваемого асинхронного электродвигателя, выделить высшие гармоники и получить спектр тока и напряжения.

Итогом является семейство кривых потерь, КПД и коэффициента мощности в функции нагрузки за цикл работы.

В качестве испытуемого образца использовались прототип и асинхронный электродвигатель двухроторной электромеханики.

По показаниям токов и напряжений в трех фазах на входе испытуемого электродвигателя измеряется потребляемая им мощность. Для измерения выходной мощности (мощности на валу) используются показания тахометра и датчика мощности. Далее составные части энергетической диаграммы определяются по ГОСТ 11828–86, ГОСТ 7217–87, ГОСТ 25941–83.

Энергетическая диаграмма рассматриваемого асинхронного электродвигателя представлена на рис. 2 [2]. В ней в отличие от энергетической диаграммы представлены четыре дополнительных энергетических канала для вентиляционных узлов. Для каждого вентилятора определяется потребляемая им мощность, вентиляционные потери и строятся аэродинамические характеристики.

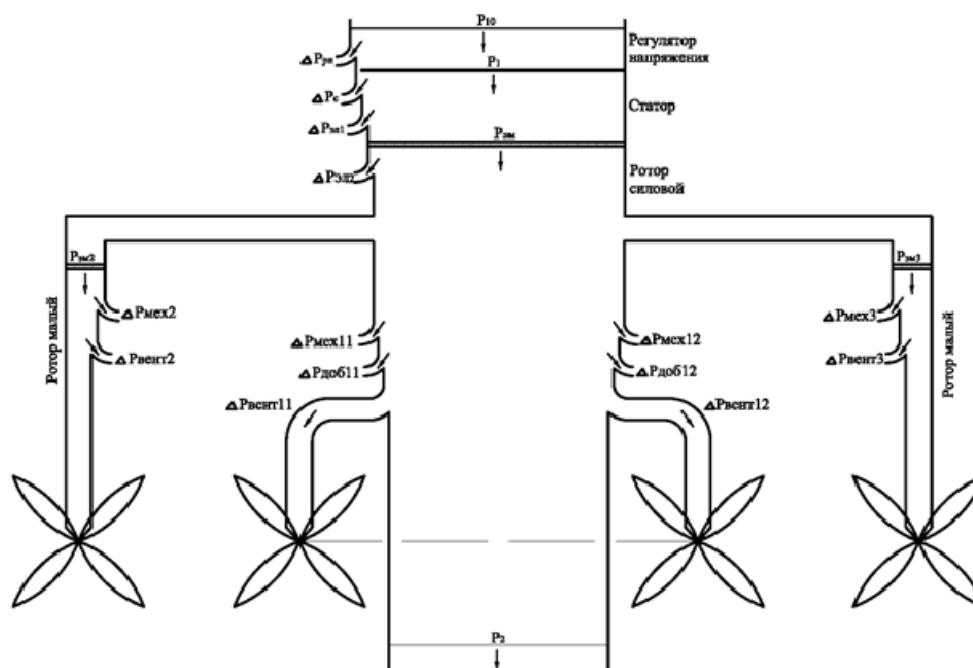


Рис. 2. Энергетическая диаграмма электродвигателя улучшенной конструкции

В силу особенностей конструкции рассматриваемого асинхронного электродвигателя улучшенной конструкции обычные методики экспериментального определения потерь и энергетических характеристик здесь неприменимы. Для нахождения

составных частей энергетической диаграммы необходимо провести исследования тепловых, вентиляционных и электромагнитных режимов, и уже на основе полученных данных рассчитать искомые потери. Учитывая, что рассматриваемый двигатель еще только разрабатывается, верификация расчетных данных энергетической диаграммы производилась на основе экспериментальных данных асинхронного электродвигателя двухроторной электромеханики.

Проведенные испытания младшей модели асинхронного электродвигателя улучшенной конструкции (модифицированная система охлаждения располагается со стороны встроенного вентилятора) подтвердили правильность показаний и измерений, эффективность отвода потерь, возможность снятия большей мощности без изменения массогабаритных показателей и более высоких энергетических показателей по сравнению с прототипом.

Литература

1. Асинхронный электродвигатель для регулируемого привода машин и механизмов : пат. на изобретение а2007/410 РБ МПК (2006), H02K 9/04 ; опубл. 06.30.09.
2. Третьяков, А. С. Аппаратное и программное обеспечение для исследования тепловентиляционных режимов асинхронных электродвигателей / А. С. Третьяков, О. А. Капитонов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – С. 289–292.
3. Парфенович, О. Н. Элементы теории тепловых процессов электродвигателя по конструктивной схеме ДАС с трехроторной электромеханикой / О. Н. Парфенович, А. С. Третьяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 124–135.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ПРИВОДОВ В ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВКАХ

А. А. Корнеев, А. П. Сериков

*Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь*

Научный руководитель А. С. Третьяков

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения применения управляемых приводов в подъемных установках. Вентильно-индукторный привод (ВИП) является сравнительно новым перспективным управляемым приводом. Таким образом, в качестве цели выберем определение возможности применения ВИП в подъемных установках. Для достижения поставленной цели изучим публикации на данную тему, рассмотрим достоинства и недостатки ВИП, определим ключевые недостатки, рассмотрим возможность их устранения.

Разработка ВИП для подъемных механизмов рассматривается в [1], а в [2] рассматривается применение линейного ВИП для лифта.

В качестве объекта исследования была выбрана электромеханическая система, входящая в состав шахтных грузоподъемных установок. Были рассмотрены требования данных систем к электроприводам. Электропривод должен обеспечивать: пуск, разгон, движение с установившейся скоростью, замедление, рекуперативное торможение, изменение направления вращения после полной остановки. Вентильно-индукторный привод удовлетворяет данным требованиям.

Вентильно-индукторный привод обладает рядом достоинств [3], [4]: низкая стоимость производства двигателя, входящего в состав ВИП, и низкая стоимость

материалов, необходимых для изготовления данного двигателя; малый момент инерции, обусловленный конструкцией двигателя; высокая ремонтпригодность; надежность; низкие потери в роторе двигателя; возможность работы на высоких оборотах; возможность работы при оборванной фазе. Данная особенность обусловлена отсутствием магнитных связей между фазами. Таким образом, при отключении одной или более фаз (в зависимости от конструкции машины) мощность привода уменьшится, однако он сохранит работоспособность; ВИП может работать в широком диапазоне скоростей без потери мощности; использование в преобразователе более надежной конфигурации силовой схемы – несимметричного моста. Данная конфигурация позволяет исключить возможность возникновения коротких замыканий в плече инвертора.

Данные приводы также имеют ряд недостатков [3], [4]: невозможность работы без преобразователя; вибрации и пульсирующий момент; в сравнении с системой ПЧ-АД для ВИП необходимо большее количество проводов для соединения двигателя и преобразователя; наличие датчика положения ротора. Однако в настоящее время публикуются работы, описывающие бездатчиковое управление ВИП; в большинстве случаев отсутствует возможность использования стандартных силовых модулей, разработанных для существующих двигателей; для достижения оптимальных показателей необходим малый воздушный зазор, причем в ряде публикаций указывается на то, что увеличение воздушного зазора более критично для ВИП, чем для АД.

Основным недостатком, который может препятствовать применению ВИП в подъемной установке, являются пульсации момента и вибрации. Однако существуют методы решения данной проблемы, например, совершенствование законов управления, выбор оптимальной конструкции статора и ротора.

Наиболее интересным и эффективным методом является метод оптимизации управления за счет регулирования таких параметров, как напряжение, ток, углы подачи и снятия напряжения с фазы. На основании публикаций по данной теме методы управления ВИП можно разделить на два вида: управление средним значением момента и управление мгновенным значением момента.

Управление средним значением момента подразумевает неконтролируемое изменение момента за время работы фазы. Управление осуществляется за счет регулирования значения токовой отсечки, углов подачи и снятия напряжения с фазы. Оптимизация данного вида управления позволяет уменьшить пульсации момента, увеличить эффективность преобразования энергии.

Суть метода можно рассмотреть на примере микроконтроллерной системы управления ВИП [5]. При запуске и на низких скоростях двигатель работает в режиме токоограничения. Управление осуществляется за счет регулирования токовой отсечки, углов подачи и снятия напряжения с фазы. На высоких скоростях двигатель работает в одноимпульсном режиме, где управление осуществляется только за счет регулирования углов подачи и снятия напряжения с фазы. Микроконтроллерное управление ВИП может реализовываться с помощью обратной связи по скорости, обратной связи по моменту, а также комбинированной обратной связи по моменту и скорости. Микроконтроллер также отвечает за запуск двигателя, согласование режимов работы.

В [6] представлен аналитический метод определения угла снятия напряжения с фазы, позволяющий оптимизировать значение момента. Данный метод позволяет рассчитывать оптимальный угол в режиме реального времени. Моделирование показывает, что в результате оптимизации происходит уменьшение пульсаций момента.

Данный аналитический метод применим как для режима токоограничения, так и для одноимпульсного режима работы двигателя.

Алгоритм уменьшения потребления энергии ВИП, основанный на регулировании угла подачи напряжения на фазу, рассматривается в [7]. Целью данного алгоритма является быстрое достижение заданной скорости и минимизация потребления энергии при установившемся режиме работы за счет подбора оптимального угла подачи напряжения на фазу. Данный алгоритм был экспериментально проверен на ВИП мощностью 1 кВт с конфигурацией 6/4 и подтвердил свою эффективность. Эксперименты с двумя различными типами нагрузки показали, что имеется возможность уменьшения потребления энергии в ВИП без ухудшения динамических показателей. Вышеуказанный алгоритм применим для широкого ряда ВИП различной мощности и конфигурации. В [8] рассматривается метод управления, при котором достигается баланс между эффективностью преобразования энергии и уровнем пульсаций момента.

Управление мгновенным моментом основано на создании за время работы фазы момента определенной формы, что осуществляется за счет создания тока определенной формы. Оптимизация данного вида управления может использоваться для уменьшения пульсаций момента, для увеличения энергетической эффективности работы двигателя.

Суть управления мгновенным моментом описывается в [9]. В частности, описывается подход к достижению минимального среднеквадратичного значения тока фазы при заданном среднем значении момента. Данный подход основан на поиске оптимальной формы тока, протекающего в фазе, при заданной выходной мощности и скорости, а также при ограниченном напряжении питания и ограниченном максимальном значении тока. Моделирование показывает, что применение данного метода позволяет значительно увеличить среднее значение момента на низких скоростях, не увеличивая потребление энергии. Негативным фактором является возрастание уровня пульсаций.

В [10] рассматривается алгоритм управления мгновенным моментом, позволяющий минимизировать пульсации. Данный алгоритм включает в себя два этапа. На первом этапе определяется форма тока в фазе, необходимая для получения определенного значения момента. На втором этапе происходит создание напряжения определенной формы, которое создает требуемый ток в фазе двигателя. Для формирования оптимального тока используется метод обучения. Результаты моделирования показывают эффективность данного метода.

Анализируя представленные работы, можно сделать вывод, что пульсации момента возможно значительно снизить. Таким образом, при условии преодоления основных недостатков ВИП можно применять в подъемных установках, в частности, в шахтных грузоподъемных установках.

Литература

1. T. Dinesh Kumar, A. Nagarajan, "Design Of Switched Reluctance Motor For Elevator Application", *Journal of Asian Scientific Research*. – 2013. – 3(3). – P. 258–267.
2. H. S. Lim, R. Krishnan, "Ropeless Elevator With Linear Switched Reluctance Motor Drive Actuation Systems", in *IEEE Trans. on Industrial Electronics*. – Vol. 54. – P. 2209–2218, Aug. 2007.
3. Темирев, А. П. Математическое моделирование, проектирование и экспериментальное определение параметров вентильно-индукторных электроприводов : монография / А. П. Темирев ; ЮРГТУ(НПИ). – Новочеркасск : ЛИК, 2011. – 794 с.
4. T. J. E. Miller, *Switched Reluctance Motor and Their Control*. London, U.K. : Magna Physics Publishing and Oxford Univ. Press, 1993.

5. B. K. Bose, T. J. E. Miller, P. M. Szczesny, and W. H. Bicknell, "Microcomputer control of switched reluctance motor", IEEE Trans. Ind. Applicat. – Vol. IA-22. – P. 708–715, July/Aug. 1986.
6. R. Orthmann and H. P. Schoner, "Turn-off angle control of switched reluctance motors for optimum torque output", in Proc. Eur. Conf. Power Electron. Applicat., Brighton, U.K., 1993. – P. 20–25.
7. P. C. Kjaer, P. Nielsen, L. Andersen, and F. Blaabjerg, "A new energy optimizing control strategy for switched reluctance motors", IEEE Trans. Ind. Applicat. – Vol. 31. – P. 1088–1095, Sept./Oct. 1995.
8. C. Mademlis, I. Kioskeridis, "Performance Optimization in Switched Reluctance Motor Drives with Online Commutation Angle Control", IEEE Trans. on Energy Conversion. – Vol. 18, no. 3. – P. 448–457, Sept. 2003.
9. H. C. Lovatt and J. M. Stephenson, "Computer-optimized current waveforms for switched-reluctance motors", Proc. Inst. Elect. Eng. Power Applicat. – Vol. 141, no. 2. – P. 45–51, March 1994.
10. N. C. Sahoo, J. X. Xu, and S. K. Panda, "Low torque ripple control of switched reluctance motors using iterative learning", IEEE Trans. Energy Conversion. – Vol. 16. – P. 318–326, Dec. 2001.

СЕКЦИЯ V ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ПОЛИТИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ПРОВЕДЕННОГО ИТ-АУДИТА

В. В. Кучура, М. М. Русакова

*Учреждение образования «Белорусский государственный
экономический университет», г. Минск*

Научный руководитель Г. Н. Подгорная

В современном мире, наполненном всевозможными информационными технологиями (ИТ), которые с каждым днем все больше совершенствуются, возрастает значение информационной инфраструктуры (ИИ) предприятия. Успешность деятельности организации во многом зависит от правильного моделирования ИИ и дальнейшей ее оптимизации.

Целью данной работы является определение взаимосвязи и упорядочения выполнения оптимизации ИИ при помощи проведения ИТ-аудита на первоначальном этапе исследования.

Цель работы обусловила необходимость решения задач: упорядочить и систематизировать понятия в области ИТ-аудита; определить взаимосвязь между ИТ-аудитом и моделированием ИИ предприятия.

ИТ-инфраструктура каждого предприятия проходит через огромное количество изменений со стороны программной, аппаратной и сетевой составляющих. Часто происходит смена сервис-провайдера или системного администратора, а это может негативно сказаться на реализации и развитии ИТ-стратегии компании. Все это может привести к таким факторам, как:

- неэффективная и непрозрачная работа ИТ;
- высокие затраты (ИТ-инфраструктура требует денежных вкладов, используемые сервисы достаточно затратны, большие затраты на интернет и пр.);
- недостаток толковой информации о качестве и количестве действующего парка компьютерной и оргтехники;
- несогласованность производительности компьютерной техники и сетевой инфраструктуры эксплуатируемому ПО;
- отсутствие уверенности в защищенности от неразрешенного доступа или хищении информации.

Помочь выявить и впоследствии решить эти проблемы может ИТ-аудит компании.

Под понятием ИТ-аудита понимается проверка независимыми экспертами эксплуатируемых организацией технических решений и выводы сравнительно аргументированности текущих решений и соотношения информационных систем (ИС) и процессов регламентам нормативных актов. В рамках данной статьи под ИТ-аудитом будем понимать профессиональное решение вышеописанных проблем и выражение экспертной точки зрения – оценка текущего состояния ИИ и рекомендации по ее усовершенствованию. Однако данные действия приемлемы в организациях, имеющих достаточно развитую структуру управления в ИТ и направлены на обследование процессной деятельности в ИТ.

Сегодня ИТ невообразимо быстро развиваются. С каждым днем их становится все больше, а уровень сложности ИТ возрастает. Они поглощают огромные финансовые и временные ресурсы, при этом не всегда предоставляя соответствующий эффект. Положительные моменты могут приобретать новые риски, что требует отдельного контроля со стороны руководства, и, как следствие, проведения внешнего и внутреннего аудита. По этой причине ИТ-аудит проводят в компаниях для того, чтобы оперативно получать максимально достоверную и систематизированную информацию для оценки ИТ-инфраструктуры, принятия решений по управлению ИИ.

Можно выделить следующие основные виды ИТ-аудита:

1. *Обследование* – включает в себя сбор максимально достоверных данных о состоянии ИТ, которые будут использоваться для последующего анализа и реализации будущей модернизации системы. При обследовании анализ и оценка не производятся.

2. *Технический аудит* – сбор и анализ информации, предложение рекомендаций по усовершенствованию функционирования каждого элемента ИИ компании.

Им соответствуют некоторые формы ИТ-аудита:

1) *аудит бизнес-процессов* – проведение анализа ИТ и ИС, используемых для выполнения конкретного бизнес-процесса, на соответствие заданным критериям эффективности и качества, по которым проводится оценка;

2) *аудит критерия* – получение и анализ информации и выдача рекомендаций по конкретному критерию (например, производительность, безопасность, доступность, степень надежности и др.). При такой форме аудита необходимо получить представление не только об отдельном компоненте ИТ-инфраструктуры, но и о всей совокупности аппаратных и программных средств, процессов их сопровождения и качестве обслуживания во всей организации;

3) *комплексный аудит* ставит своей целью сопоставить текущее состояние ИТ потребностям бизнеса компании, достижение которой возможно посредством анализа взаимосвязанных бизнес-процессов, информационных и других смежных с ними технологий, а также совокупности аппаратно-программных средств, имеющих в арсенале организации.

На основе данных, приведенных выше, можно сделать вывод: перед проведением экспертной оценки необходимо выявить цели и задачи компании, которые должен выполнить ИТ-аудит. После этого руководству предстоит выбрать форму и вид аудита. Далее эксперты приступают непосредственно к процессу проведения ИТ-аудита.

Процесс проведения ИТ-аудита включает в себя следующие основные этапы:

1. *Предварительное обследование*. Этот этап включает в себя формулирование цели проведения аудита, диагностирование общего состояния программного и аппаратного обеспечения объекта ИТ-аудита. На основе первичной информации определяется объем работ по аудиту, подбираются методики и разрабатывается план проведения ИТ-аудита. На этой стадии также формируется бюджет предстоящего проекта.

2. *Обследование*. Основной этап по сбору данных об объекте проверки, необходимых для осуществления утвержденного плана ИТ-аудита. Информация собирается посредством анкетирования персонала, анализа документов организации, тестовых испытаний функционирования технических средств с помощью специализированного ПО.

3. *Обработка результатов*. На основании полученных результатов проводится комплексный анализ собранной информации и определяется уровень соответствия ИИ требованиям аудита и его стандартов, а также бизнеса компании. На этом этапе

разрабатываются рекомендации по устранению проблемных мест и улучшению конкретных элементов ИИ, которые оформляются в рабочий отчет по аудиту.

4. *Согласование.* Этап включает в себя проведение презентации руководству компании результатов аудита и возможные оптимальные концепции модернизации ИТ-инфраструктуры. После выбирается один из предложенных вариантов и разрабатывается план мероприятий моделирования/оптимизации/модернизации ИИ с предварительной сметой.

Проведение ИТ-аудита позволит проанализировать текущее состояние ИТ организации, предложить руководству компании план мероприятий по повышению уровня эффективности ИТ и минимизации ИТ рисков. Грамотно проведенный ИТ-аудит демонстрирует, какие задачи может выполнить имеющиеся в организации оборудование и техника, а какие потребуют приобретения нового. Кроме того, ИТ-аудит позволяет оценить и уменьшить стоимость обслуживания и использования ИС. Анализ рисков в сфере защиты информации и внедрение новых сервисов и их конфигурации с действующей ИС также невозможен без предварительного ИТ-аудита.

На основе отчета ИТ-аудита у руководителей компаний появляется возможность своевременно реагировать на возникшие в ИИ проблемы и не допускать появления некоторых из них в будущем. ИТ-аудит может быть направлен на анализ процессов разработки и внедрения новых ИС и является начальным этапом для решения задач по минимизации затрат, а также неотъемлемой частью аудита системы информационной безопасности. В результате может быть смоделирована новая ИИ с обеспечением гибкой, легко настраиваемой и адаптирующейся к постоянно изменяющимся условиям информационной среды при помощи интеграции специальным образом аппаратных, программных средств и информационно-технической услуги.

В настоящее время в Беларуси существуют такие компании, проводящие аудит ИИ, как БЕЛСОФТ, SQUALIO, «АйСервис», «БелХард», ЭКСАХАУС, Innovation Technology Group, «Сфера АЙТИ», Центр Проектных Технологий, Стрим центр (CSN), но их достаточно мало. Помимо этого организация Институт ИВА предоставляет возможность интерактивного обучения по курсу «Проведение аудита информационных технологий в организации». На таких семинарах приведены практические кейсы с учетом специфики компаний-заказчиков, что может существенно улучшить понимание. В итоге по окончании обучения слушатели курса получают конкретные цифры и рекомендации относительно ИС в их организации и смогут самостоятельно провести ИТ-аудит.

В Республике Беларусь не так много компаний, желающих приобретать услуги ИТ-аудита. Почему? Одной из возможных причин является наличие в компаниях штатного специалиста, обладающего необходимой квалификацией для проведения ИТ-аудита. Некоторые менее крупные компании считают, что ИТ-аудит не имеет большой значимости для их организации, а лишь представляет собой лишние затраты, поэтому не проводят его и вовсе. Немаловажным является тот факт, что такой вид работ не прописан законодательно в Республике Беларусь. Как следствие, технические возможности оборудования предприятий используются не на полную мощность, и, соответственно, организация не достигает максимально возможной эффективности.

В рамках данной работы и поставленной цели был проведен анализ последствий неоптимального управления ИИ, обзор основных видов и форм проведения ИТ-аудита как предварительного этапа исследования существующей ИИ, по итогам которого можно спланировать/смоделировать экономически/эргономически эффективную ИИ [1]. Решение данных задач подтверждает цель работы, поставленной в начале.

Литература

1. Подгорная, Г. Н. Информационный аудит в общей системе аудита / Г. Н. Подгорная // Вестн. Белорус. гос. экон. ун-та. – 2015. – № 4 (111). – С. 30–42.
2. Подгорная, Г. Н. Многокритериальный анализ информационной инфраструктуры субъектов хозяйствования / Г. Н. Подгорная // Вестн. Белорус. гос. экон. ун-та. – 2011. – № 5. – С. 46–54.
3. Барышев, Р. С. Планирование и оптимизация информационной инфраструктуры организации / Р. С. Барышев // Соц.-экон. явления и процессы. – 2013. – № 6 (052). – С. 49–52.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ПО РАЗВИТИЮ ПРОИЗВОДСТВА****А. И. Седляр, А. С. Жабыко***Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь*

Научный руководитель В. А. Широченко

При принятии различных управленческих решений руководители часто склонны опираться лишь на личный опыт, который в большинстве своем носит субъективный характер. Как правило, результат решения зависит не только от лица, принимающего решение, но и от среды, в которой оно принимается. Сложно предугадать, какие последствия повлечет за собой сделанный выбор – хорошее на первый взгляд решение не всегда приносит ожидаемый результат.

На рынке программных продуктов существует широкий спектр программ, которые могут помочь автоматизировать процесс принятия решений. К примеру, Project Expert, Energy Invest, Prime Expert, Business Objects. Вместе с тем использование таких продуктов часто затруднительно для пользователя ввиду следующих причин:

- они требуют тщательной настройки;
- визуализация результатов не всегда понятна или вовсе отсутствует;
- нельзя добавлять дополнительные ресурсы для более детального анализа (отсутствие возможности модульного обновления);
- затруднительно оценивать и сопоставлять большое количество проектов.

Для устранения возникающих неудобств разработан программный продукт, позволяющий проводить оценку экономической эффективности инвестиционных проектов, используя как точечные, так и интервальные оценки. Так, для расчета точки безубыточности в программном продукте учитываются минимальное и максимальное значения рыночных цен, постоянных и переменных издержек производства. Такое представление результатов позволяет пользователю на графике безубыточного объема производства наблюдать не одну точку, а совокупность возможных решений.

Программный продукт написан на языке программирования VBA. Данный выбор обоснован тем, что на большинстве предприятий все данные хранятся в пакете MS Office. В качестве программы для хранения данных выбран MS Access, так как данные, используемые в инвестиционном проекте, логически разделены на части, каждая из которых помещена в отдельную таблицу. Такая организация данных обеспечивает их эффективное использование, позволяет избежать ненужного дублирования данных, сэкономить память компьютера и увеличить скорость и точность обработки информации. Кроме того, в MS Access есть возможность создания отчетов, которые пользователи могут динамически перестраивать или хранить в первоначальном виде и просматривать результаты на любой стадии анализа.

Для упрощения процедуры анализа механизм использования программного продукта построен на основе следующей концепции: на главной форме пользователь

имеет доступ ко всем инновационным проектам предприятия. При этом имеется возможность их просмотра, изменения, перерасчета эффективности проекта в выбранной валюте либо создания нового проекта.

При создании нового проекта программной системой предоставляется возможность формирования портфеля продуктов для дальнейшего анализа. На предоставляемой интерфейсной форме расположены основные инструменты, позволяющие осуществлять анализ и оценку принимаемых решений. Первый из них – это оценка параметров рынка и определение наиболее прибыльного соотношения объемов выпускаемой продукции. Он построен на основе применения игровых методов. Вторым инструментом является конкурентный анализ. Он позволяет по выбранному продукту определить количественную оценку по всем критериям конкурентоспособности в отдельности и дать их интегральную оценку. Следующим инструментом является оценка величины прибыли на основе определения точки безубыточности, расположение которой можно наблюдать визуально при изменении объема производства и цены продукта. Для окончательного выбора наиболее эффективного решения предусмотрен инструмент сопоставительного представления результатов в виде диаграмм и отчета со всеми необходимыми показателями.

При формировании данных для анализа после выбора продуктового портфеля необходимо задать характеристики каждому из продуктов. Для выполнения оценки эффективности производства при его локализации в другой стране целесообразно представлять процесс производства анализируемых продуктов в виде нескольких обобщенных операций. Например, обработка материалов с получением полуфабриката может происходить в одной стране, а конечная обработка с получением готового продукта может происходить в другой стране. В связи с этим в программном продукте для каждой укрупненной технологической операции предусмотрен следующий механизм: 1) возможность выбора материалов и их поставщиков для каждого конкретного продукта; 2) выбор различного оборудования и поставщиков этого оборудования; 3) закрепление страны локализации за отдельными операциями технологического процесса либо полностью за продуктом. При выборе этого параметра учитываются транспортные расходы, затраты на электроэнергию, воду, оплата труда специалистов и управляющего аппарата, характерных для страны локализации.

При принятии управленческим персоналом решения о техническом перевооружении производства необходимо рассчитать его экономическую эффективность. Техническое перевооружение подразумевает покупку нового либо модернизацию имеющегося оборудования. В связи с этим в программном продукте имеется возможность добавления в базу данных информации о новом оборудовании, затратах на его покупку, доставку, монтаж и установку.

Исходной информацией для осуществления анализа экономической эффективности проекта являются следующие данные предприятия:

- нормы расхода материалов;
- постоянные и переменные издержки производства;
- величина производственной мощности, а также величина арендных платежей исходя из необходимого размера производственного помещения;
- потребность в основном и оборотном капитале;
- объемы внутреннего (собственный капитал) и внешнего финансирования (заемный капитал);
- величина годового потребления электроэнергии;
- размер инвестиционных вложений с учетом транспортных и монтажных работ.

Указав все интересующие параметры, пользователь переходит к выполнению шести основных процедур:

1. *Определение себестоимости продукта.* При этом разработанная информационно-аналитическая система позволяет изменить вид используемого сырья, поставщика конкретного вида сырья и сразу же оценить, как эти изменения влияют на величину себестоимости рассматриваемого продукта.

2. *Выбор оптимального объема выпускаемых видов продукции в процентном соотношении.* Для определения объема производимой продукции в программу заложен игровой метод, позволяющий определить оптимальное процентное соотношение выпускаемой продукции исходя из потребности рынка и возможностей конкурентов.

3. *Анализ конкурентоспособности.* Данный инструмент позволяет оцифровать качественные критерии оценки для возможности сравнения конкурентоспособности оцениваемого продукта (корзины продуктов) с аналогичным продуктом, выпускаемым другими предприятиями, а также получить интегральный показатель конкурентоспособности. При этом полученные результаты можно использовать для формирования цены на продукт.

4. *Построение графика точки безубыточности.* При этом пользователь имеет возможность варьировать ценой на производимую продукцию и оценить изменение точки безубыточности на фоне рыночных цен. Также существует возможность варьирования объемом производства выпускаемой продукции, при этом график автоматически перестраивается, что позволяет сравнивать несколько вариантов развития событий при различных исходных данных.

5. *Оценка эффективности инвестиционных проектов.* Расчет чистого дисконтированного дохода, индекса доходности, срока окупаемости, внутренней нормы доходности, показателей финансовой надежности.

6. *Выбор оптимальной стратегии направления развития из множества возможных вариантов.* Выбор модели управления, т. е. определение вариантов стратегий развития осуществляется в соответствии с его финансово-производственной политикой, политикой формирования капитала и его источников, обеспечивающих заданный уровень соотношения их использования и риска.

В качестве результирующих данных предоставляется набор стратегий развития предприятия. Каждая стратегия, в свою очередь, описывается своим набором факторов, изменение которых по-разному влияет на конечный результат. Основной целью является определение наиболее эффективных проектов, обеспечивающих предприятию выгодное вложение свободных средств. Результаты данной оценки используются менеджерами и руководителями высшего звена для формирования политики и стратегий управления либо их корректировки.

Предусмотрен журнал действий, где отображается информация о том, кем, когда и какие изменения были внесены в данные о проекте. Access имеет развитую систему защиты от несанкционированного доступа, которая позволяет каждому пользователю или группе пользователей видеть и изменять только те объекты, на которые ему выданы права администратором системы.

Таким образом, автоматизация процессов принятия решений позволит уменьшить количество неточных управленческих решений и ошибок при их реализации, обеспечит высокую оперативность и обоснованность их принятия.

Литература

1. Автоматизация принятия управленческих решений на основе экспертных решений // Издательский дом БИБЛИО-ГЛОБУС. – Режим доступа: <https://bgscience.ru/lib/6902/>. – Дата доступа: 03.04.2017.

2. Локализация производства // Российско-Германская Внешнеторговая палата. – Режим доступа: <http://russland.ahk.de>. – Дата доступа: 03.04.2017.
3. Локализация производства как одно из условий развития социально-экономических систем // Информационно-аналитический портал клуба субъектов инновационного и технологического развития России. – Режим доступа: <http://innclub.info/archives/1149>. – Дата доступа: 03.04.2017.
4. Проекты по техническому перевооружению действующего производства // Энциклопедия по экономике. – Режим доступа: <http://economy-gu.info/info/167780>. – Дата доступа: 03.04.2017.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. О. Жевнова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. К. Ландова

В современных условиях в процессе экономической деятельности у промышленного предприятия постоянно возникает потребность в оптимизации дебиторской задолженности, проведении расчетов со своими контрагентами, бюджетом, налоговыми органами. Отгружая произведенную продукцию или оказывая некоторые услуги, предприятие, как правило, не получает деньги в оплату немедленно, т. е. по сути оно кредитует покупателей. Поэтому в течение периода от момента отгрузки продукции до момента поступления платежа средства предприятия «заморожены» в виде дебиторской задолженности, уровень которой определяется такими факторами, как вид продукции, емкость рынка, степень насыщенности рынка данной продукцией, условия договора, принятая на предприятии система расчетов. В связи с этим тема является весьма актуальной и заключается в необходимости исследования и поиска путей совершенствования расчетов с дебиторами и кредиторами, а также оптимизации этих расчетов.

Национальный статистический комитет Республики Беларусь располагает данными о размере дебиторской задолженности предприятий в период с 2010 по 2016 г. (рис. 1).

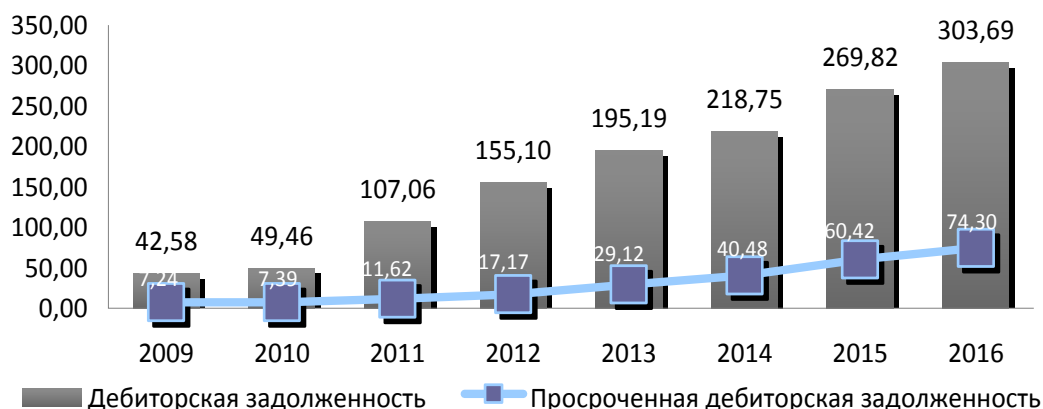


Рис. 1. Данные о размере дебиторской задолженности предприятий в период с 2010 по 2016 г.

Как видно из рис. 1, дебиторская задолженность предприятий Беларуси на 1 января 2016 г. составила 303,69 трлн р., по сравнению с прошлым годом она возросла на 33,87 трлн р. Прирост дебиторской задолженности произошел из-за ухудшения расчетов внутри Беларуси. Увеличение дебиторской задолженности может свидетельствовать о неосмотрительной кредитной политике предприятий по отношению к покупателям либо об увеличении объема продаж, либо неплатежеспособности и банкротстве части покупателей. Просроченная дебиторская задолженность увеличивается более быстрыми темпами по сравнению с ростом дебиторской задолженности. Наличие просроченной дебиторской задолженности создает финансовые затруднения, так как предприятие будет чувствовать недостаток финансовых ресурсов для приобретения производственных запасов, выплаты заработной платы и др. Кроме того, замораживание средств в дебиторской задолженности приводит к замедлению оборачиваемости капитала. Просроченная дебиторская задолженность означает также рост риска непогашения долгов и уменьшение прибыли. Поэтому каждое предприятие заинтересовано в сокращении сроков погашения причитающихся ему платежей.

Основными путями для реструктуризации и уменьшения дебиторской задолженности являются:

- взаимозачет взаимных платежных требований до арбитражных процедур;
- передача дебитором в зачет погашения задолженности быстроликвидных ценных бумаг по взаимному соглашению;
- передача дебитором части своего имущества в погашение задолженности;
- переоформление дебиторской задолженности в векселя;
- увеличение размера предоплаты за отгруженную продукцию;
- применение системы скидок от стоимости продукции при досрочном, своевременном платеже за отгруженную продукцию и снижение санкций за просрочку платежа;
- применение процедуры факторинга. Необходимость поиска эффективных путей по повышению ликвидности дебиторской задолженности организации в целях скорейшего высвобождения денежных средств, заложенных в ней, для погашения кредиторской задолженности связана с повышением (восстановлением) платежеспособности предприятия.

Рассмотрим более подробно предлагаемые пути снижения дебиторской задолженности:

1. Взаимозачет предусматривает погашение взаимных обязательств предприятий, как правило, с привлечением третьих лиц. После рассмотрения взаимных обязательств и требований между организациями можно погасить частично или полностью дебиторскую задолженность, используя взаимозачеты. Взаимозачеты долгов служат распространенным методом реструктуризации задолженности.

2. Передача (продажа) дебитором для погашения задолженности предприятию имеющихся на балансе быстроликвидных ценных бумаг – облигаций и акций. По взаимному соглашению в качестве таких ценных бумаг могут использоваться государственные кредитные облигации, облигации федерального займа разных сроков погашения, муниципальные облигации, акции известных компаний топливно-энергетического комплекса, телекоммуникационных предприятий и т. д. Важным моментом является уточнение стоимости передаваемых (продаваемых) ценных бумаг.

3. Получение от дебитора в счет погашения дебиторской задолженности части недвижимого имущества, находящегося в его собственности: административных,

производственных или складских площадей, производственного оборудования, транспортных средств и др.

Полученное имущество может быть использовано организацией в своем производственном процессе или передано своим кредиторам, или продано третьим лицам.

Другой вариант погашения дебиторской задолженности – сдача в аренду вышеперечисленного недвижимого имущества организации, а она, в свою очередь, может его передать в субаренду своим кредиторам или третьим лицам.

Погашение дебиторской задолженности может также происходить за счет передачи дебитором материальных ценностей: сырья, материалов, товаров и т. д., которые организация может использовать в своем производстве или для погашения дебиторской задолженности, или продать третьим лицам.

4. Задолженность неплатежеспособной организации другим организациям может быть переоформлена в качестве займа или в виде ликвидных векселей, что будет более выгодно в части надежного и полного погашения обязательств.

5. Важным направлением уменьшения объема дебиторской задолженности является увеличение размера предоплаты за отгруженную продукцию. Размер предоплаты за отгруженную продукцию может колебаться в значительных границах в зависимости от характера взаимодействия с клиентом – потребителем продукции и истории кредитных отношений с ним. В общем случае для постоянного клиента – потребителя продукции – размер предоплаты за отгруженную продукцию может составлять 20–25 % стоимости партии, для клиента, периодически потребляющего продукцию, – не менее 50 %, для клиента, редко потребляющего продукцию или незнакомого, – 100 %. Определение клиента, заказчика продукции, для которого устанавливается объем предоплаты 0–100 %, зависит от обстоятельств каждого конкретного случая, условий заключения сделки, финансовых возможностей клиента.

6. Погашение дебиторской задолженности возможно в результате предложенных скидок к размеру задолженности в обмен на ускорение платежей, особенно при досрочном, своевременном платежах. Так, при досрочном платеже скидки могут составлять 5–7 %; при своевременном платеже – 2–3 %; при ускорении просроченного платежа – за счет отмены или снижения санкций за просрочку платежа. В данном случае использование скидок будет существенно выгоднее, чем применение краткосрочных займов для погашения дебиторской задолженности. Дебиторы, которые могут получить такие скидки, и размер скидок определяются отдельно для каждого конкретного случая.

Следующим шагом уменьшения дебиторской задолженности является уменьшение периода предоставления товарного кредита клиентам – покупателям продукции. Товарный кредит нередко предоставляется клиентам на 60 дней. Поэтому снижение календарного периода предоставления товарного кредита является также важной мерой снижения объема дебиторской задолженности. Так, рекомендуется для постоянных клиентов – не более 30 дней; для клиентов, периодически покупающих продукцию, – не более 15 дней. В каждом конкретном случае в зависимости от объема поставок, стабильности платежей эти сроки устанавливаются индивидуально.

Для постоянных клиентов может быть установлен предельный приемлемый уровень объема задолженности, который не нарушается при проведении новых закупок и платежей.

Литература

1. Валиев, Ш. Н. Управление дебиторской задолженностью промышленного предприятия : автореф. дис. ... канд. экон. наук / Ш. Н. Валиев. – Уфа, 2009.

2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 25.02.2015.
3. Крылов, С. Н. Финансовое состояние коммерческой организации как объект анализа / С. Н. Крылов // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2009. – № 2.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ В МАТЕРИАЛЬНОМ СТИМУЛИРОВАНИИ ПЕРСОНАЛА

М. В. Брель

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. П. Драгун

В настоящее время материальное (экономическое) стимулирование персонала занимает важную роль не только в управлении персоналом, но и во всем производственном процессе. Изучив основные методы экономического стимулирования персонала на отечественных предприятиях, можно сделать вывод, что основную мотивирующую роль осуществляет заработная плата. Однако часто этого недостаточно, чтобы в полной мере мотивировать работников к качественному и производительному труду, поэтому целесообразно изучать зарубежный опыт в данной сфере, а также возможность его применения на белорусских предприятиях.

Рассмотрим опыт японских предприятий в экономическом стимулировании кадров. В Японии зарплата является одной из основных методов мотивации персонала, однако эти методы имеют свои особенности. В японских организациях очень ценится преданность компании, и это достойно поощряется. Если работник работал все время на одного предпринимателя (до 55 лет), то ему выплачивается выходное пособие, равное двум годовым зарплатам. Сам размер оплаты труда зависит от пола, возраста, квалификации, опыта работы и образования. Также работника поддерживают в важные моменты жизни: окончание учебного заведения, женитьба, рождение детей, покупка жилья и др. Эта поддержка выражается в ощутимом росте зарплаты. На предприятиях Японии применяются и различные премии, например, за инициативу [1].

Материальное поощрение в американских фирмах занимает лидирующее место среди иных методов стимулирования работников. На предприятиях активно применяется участие в прибылях или в акционерном капитале, т. е. продажа акций по более низким ценам. Это делают, чтобы работники осознавали свой вклад в деятельность предприятия. Применяется также и бонусная система, которая основана на прямой зависимости заработной платы от результатов труда. Так, в США основная заработная плата работника может составлять 50 %, а 50 % – бонусы. То есть свою зарплату за счет бонусов можно увеличить в 2 раза. Также широко распространены ссуды по пониженной ставке на собственное обучение или обучение детей. Фирма нередко оплачивает кафетерии, юридические услуги, услуги по оздоровлению, а также часто предоставляют отпуск на получение новых знаний и повышение квалификации, который доступен при стаже работы в компании не менее 20 лет [2].

Опыт французских фирм определяется потребностями работников в гибком графике, возможности самореализоваться и страховании. Так, на французских фирмах широко распространено медицинское страхование. Также фирма помогает работникам в выплате кредитов и ипотеки. В последнее время многие организации обеспечивают корпоративное питание для своего персонала [3]. На французских предприятиях применяется индивидуализация и индексация заработной платы. Ин-

дивидуализация означает, что зарплата работника зависит от качества выполненной работы, уровня квалификации, количества рационализаторских предложений, мобильности работника. Также применяются продажа акций, премии, участие в прибылях. Индексация зарплаты производится на многих предприятиях Франции. Она производится в зависимости от стоимости жизни, поэтому в зарплате учитываются индексы цен на потребительские товары. Также часто персонал мотивируют предоставлением собственного автомобиля, обеспечением по старости.

В Великобритании существует две системы оплаты труда, зависящие от прибыли: денежная и акционерная. Акционерная система оплаты труда представляет собой выплату части заработной платы акциями организации. Возможна покупка акций за собственные средства с целью получения дивидендов, т. е. долевое участие в капитале фирмы. Также применяется участие в прибылях, т. е. кроме основной заработной платы выплачивается доля прибыли организации. Трудовое долевое участие объединяет три вышеперечисленные формы оплаты труда: денежная, акционерная и долевое участие в капитале фирмы. Таким образом, заработная плата работника состоит из основной зарплаты, части прибыли за труд и дивидендов. Это значительно увеличивает размер зарплаты и стимулирует сотрудников предприятия [4].

Многие китайские компании ощутили, что стимулирование персонала заработной платой недостаточно, поэтому основным методом стимулирования работников является компенсация. Это происходит, так как с компенсаций не взимается налог. Так, применяется медицинское страхование, оплата расходов на транспорт, покупка проездных, оплата интернета и мобильной связи. Успешным работникам на предприятии выделяют денежную помощь на покупку квартиры, на обучение работников. Еще одним методом стимулирования кадров в Китае является получение управляющим высшего и среднего уровней акции или отсроченное право получения акций. Сотрудники данный метод называют «золотыми наручниками», так как именно отсроченное право на получение акций удерживает и стимулирует опытных специалистов на конкретном предприятии [5].

Таким образом, в зарубежных странах активно применяются методы стимулирования путем получения акций или отсроченного получения акций, применяется участие в прибылях, что показывает сотрудникам их вклад в работу предприятия. Особое внимание уделяется медицинскому страхованию, помощи в оплате кредитов и ипотеки, оплате Интернета и мобильной связи. Таким образом, необходимо зарубежный опыт в экономическом стимулировании персонала использовать на отечественных предприятиях. Дифференциация материального стимулирования увеличит заинтересованность работников в качественном труде и удержит опытных специалистов на предприятии.

Литература

1. Зарубежный опыт материального стимулирования труда персонала предприятий // Электронная библиотека economy.ru.com. – Режим доступа: <http://economy.ru.com/ekonomika-predpriyatij-ru/zarubejniy-opyt-materialnogo-stimulirovaniya-57421.html>. – Дата доступа: 12.03.2017.
2. Опыт мотивации труда в ведущих странах мира и целесообразность его применения на отечественных предприятиях // Персонал Престиж. – Режим доступа: [personal-prestizh.ru](http://www.personal-prestizh.ru). – Дата доступа: 12.03.2017.
3. Вовлеченность персонала: опыт зарубежных компаний // Практик. журн. по управлению человеческими ресурсами «Директор по персоналу». – Режим доступа: <http://www.hr-director.ru>. – Дата доступа: 12.03.2017.

4. Козаченко, А. Зарубежный опыт мотивации труда / А. Козаченко // Сообщество кадровиков и специалистов по управлению персоналом. – Режим доступа: <http://hrliga.com/index.php?module=profession&op=view&id=1731>. – Дата доступа: 12.03.2017.
5. Зарубежный опыт управления персоналом // Студми. Учебные материалы для студентов. – Режим доступа: http://studme.org/1600040826242/menedzhment/zarubezhnyy_opyt_upravleniya_personalom. – Дата доступа: 07.11.2016.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ СНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

А. Н. Супроненко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. П. Драгун

Информационные технологии, включающие компьютеры и телекоммуникации, особенно Интернет, существенно повлияли на процессы и процедуры закупочной деятельности. Интернет создал множество новых возможностей, позволяющих улучшить показатели деятельности в цепях поставок, особенно в области снабжения. Поставщики трансформировались в электронных поставщиков, или е-поставщиков, в бурно прогрессирующей электронной коммерции (е-коммерции, е-бизнесе) [1].

Е-коммерция включает в себя различные порталы, электронные торговые площадки, е-рынки, е-аукционы и виртуальные цепи поставок.

За рубежом пользуются особой популярностью электронные торговые площадки, которые представляют собой программно-аппаратный комплекс организационных, информационных и технических решений, обеспечивающих взаимодействие продавца и покупателя через электронные каналы связи [2]. Электронные торговые площадки объединяют в одном информационном и торговом пространстве поставщиков и потребителей различных товаров и услуг.

В российской практике имеет высокий спрос система электронных торговых площадок B2B-Center, созданная в 2002 г. АО «Центр развития экономики» для осуществления корпоративных продаж и закупок [3].

На площадках B2B-Center предоставляется возможность проведения более 43 видов торговых процедур, таких как закупочные, сбытовые, многоотраслевые, отраслевые и продуктовые. В нем доступны более 1 млн товаров и услуг от 4800 компаний [4].

Данная система объединяет закупки различных отраслей: энергетической; нефтехимической; металлургической; автомобильной промышленности и др.

Заказчики могут выгружать данные о своих товарах в каталог прямо из программы 1С, который внешне напоминает интернет-магазин. Предложенные товары или услуги смогут просмотреть более 300 тыс. компаний из различных стран, зарегистрированных в системе электронных торгов.

В каталоге товаров располагаются предложения следующих продуктов: спецодежда; промышленное оборудование; топливо, газ и нефтепродукты; электрооборудование; связь, телекоммуникации; спецтехника; полезные ископаемые; оргтехника и др.

Пользование B2B-площадками позволяет сократить время на полную реализацию всей цепи поставок, уменьшить бумажный документооборот, способствует интеграции поставщиков, производителей и потребителей.

Взаимодействие заказчика и поставщика в системе B2B-Center происходит в рамках торговой процедуры. Заказчик объявляет торги на закупку, после чего участники системы автоматически получают уведомление с приглашением к участию

в торгах. Поставщик может сам найти интересные ему торги в разделе «Торговая площадка», используя поиск по наименованию компании-заказчика, номеру торгов или классификатору закупаемой продукции, и подать заявку на участие в подходящих процедурах. Поставщик может объявлять и собственные торги на продажу своей продукции.

На данной площадке ежедневно проводится свыше 3500 торговых процедур – это и коммерческие тендеры, и закупки госкомпаний. К 2017 г. общий объем торгов на площадке превысил 8,6 трлн р [5].

Участие в электронных торгах на площадках B2B-Center платное для заказчиков и поставщиков, за исключением закупок атомной отрасли с начальной ценой до 200 тыс. р. Скачивание тендерной документации в открытых процедурах бесплатное. После решения участвовать в закупке потребуется пройти регистрацию на площадке и купить тариф.

Для автоматизации закупочной деятельности площадку B2B-Center используют крупнейшие компании России: ГК «Росатом», АО «НПК «Уралвагонзавод», АО «Башкирская электросетевая компания», ОАО «Генерирующая компания», «Транстрой», ПАО «МегаФон» ПАО «ВымпелКом», АО «Кордиант», Омск Карбон Групп, а также ряд крупнейших энергетических компаний Западно-Сибирского региона.

В системе данных торговых площадок обращаются товары и услуги, которые предприятия продают друг другу. Важный аспект использования данного типа e-коммерции заключается в том, что он больше привязан к коммерческой необходимости, а не к потребительским пристрастиям и моде.

Наиболее эффективно технологии B2B-Center реализуются в специализированных онлайн-торговых площадках, так как этими услугами пользуются группы предприятий, выступающих как в качестве продавцов, так и в качестве покупателей.

Поставщики, которые участвуют в электронных тендерах у крупных заказчиков, получили возможность экономить на собственных закупках. Специально для этого была разработана торговая процедура, именуемая «Быстрая закупка».

Отличительная черта данного вида тендера от ранее существовавших заключается в том, что его можно объявить без использования электронной подписи и по упрощенной форме. Упрощенная форма подразумевает исключение дополнительных настроек, необходимых для закупок большого объема. Использование «Быстрой закупки» не требует дополнительных оплат и регистрации. Также не появляются ограничения, т. е. поставщики могут закупать любые товары и услуги – от канцтоваров до сложных работ по строительству производственных объектов.

Таким образом, наиболее ценной и выгодной при использовании в качестве канала снабжения электронной торговой площадки является экономия времени на поиск новых поставщиков и на подписание новых соглашений на поставку.

Стоит отметить еще несколько потенциальных выгод использования B2B-площадок:

- расширение географии своего бизнеса (так как потенциальные партнеры находятся по всему миру);
- снижение транзакционных издержек при взаимодействии с партнерами (информационное взаимодействие через всемирную сеть осуществляется моментально, не требует дополнительных материальных затрат).

В итоге это может повлиять на снижение цены предлагаемой продукции и услуг.

Еще одним немаловажным преимуществом использования такого канала снабжения является повышение оперативности в приобретении сырья и реализации продукции по приемлемым ценам, т. е. это снижение уровня складских запасов. Дополни-

тельно к этому можно рассматривать экономию операционных расходов, облегчение управления компанией, расширение рынка и получение новых клиентов.

Согласно данным, опубликованным на официальном сайте B2B-Center, на данной площадке можно выбрать надежных контрагентов из 308721 проверенных участников, быстро организовать торги и сэкономить в среднем 20 % на закупках. В современных условиях развития конкуренции такая экономия становится определяющим фактором снижения издержек.

На рынке электронных торговых площадок не существует таких, которые предлагают весь набор товаров и услуг, необходимых для полного снабжения предприятия и заключения сделок. Поэтому наилучшим решением является выбор информационного наполнения и цепей поставок, которые наиболее полно удовлетворят заказчиков. Для этого предприятию необходимо применить стратегически и динамично управляемый комплексный подход, который наиболее эффективно использует возможности той или иной модели для наиболее полного удовлетворения ее потребностей.

Литература

1. Логистика. Интеграция и оптимизация логистических бизнес-процессов в цепях поставок : учеб. для МВА / В. В. Дыбская [и др.]. – М. : Эксмо, 2014. – 750 с.
2. 1С. Электронные торговые площадки. – 2017. – Режим доступа: <http://1c-ctp.ru/faq/article/24>. – Дата доступа: 27.02.2017.
3. B2B-Center. Центр электронных торгов. – 2017. – Режим доступа: <https://www.b2b-center.ru/company/>. – Дата доступа: 21.02.2017.
4. Открытые торги. Центр тендерного сопровождения. – 2017. – Режим доступа: <http://opentorg.ru/perechen-elektronnyh-torgovyh-ploshhadok/b2b-center>. – Дата доступа: 01.03.2017.
5. Министерство экономического развития РФ. – Режим доступа: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depfks/223/2016060703>. – Дата доступа: 01.03.2017.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ

М. В. Брулевич

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. В. Савченко

В настоящее время вопрос конкурентоспособности продукции, выпускаемой промышленными предприятиями, стоит особенно остро. Одним из способов повышения конкурентоспособности и привлекательности продукции является снижение ее стоимости. При помощи внедрения энергосберегающих проектов можно добиться различных результатов: снижения энергоемкости продукции, экономии топливно-энергетических ресурсов, повышения энергоэффективности производства. В свою очередь, все полученные эффекты найдут отражение в снижении стоимости продукции, что приведет к повышению ее конкурентоспособности на мировом рынке. Также следует учесть, что отечественные предприятия тратят в разы больше энергоресурсов на производство продукции, чем аналогичные предприятия за рубежом. Однако при внедрении энергосберегающих проектов особое внимание следует уделить повышению эффективности управления энергосбережением посредством внедрения тех предложений, экономический эффект от реализации которых наибольший.

К сожалению, на многих предприятиях отсутствует эффективная связь между менеджерами высшего звена и представителями энергослужб предприятия. В связи с этим у руководства возникают проблемы с объективной оценкой потенциала энергосберегающих проектов, а у энергетиков отсутствуют четкие представления о страте-

гии развития предприятия, так как они не участвуют в разработке и принятии плана затрат и других предложений, которые являются основой совершенствования работы энергетического хозяйства предприятия. Таким образом, у работников различных служб предприятия нет экономической заинтересованности в эффективном использовании энергетических ресурсов. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что на промышленных предприятиях недостаточно эффективно проводится отбор энергосберегающих проектов. Еще одна проблема заключается в том, что руководители высшего звена рассматривают энергосбережение через долю энергозатрат в себестоимости продукции. Для предприятий машиностроения этот показатель находится в пределах 5–15 % [4, с. 24].

Для решения всех вышеперечисленных проблем на предприятии должна быть внедрена эффективно функционирующая система энергетического менеджмента – это система, включающая в себя различные методы и способы, которые дают возможность предприятию принять и внедрить энергосберегающие проекты, не требующие при этом больших затрат на их осуществление.

Одной из ключевых позиций энергоменеджмента на предприятии является формирование энергосберегающей политики предприятия, которая представляет собой формирование и постоянное улучшение организационных, экономических, правовых механизмов, целью которых является рациональное и эффективное использование энергоресурсов [2, с. 56].

Первым этапом при составлении плана по энергосбережению на промышленных предприятиях является рассмотрение возможных энергосберегающих предложений с описанием необходимых затрат и возможного эффекта от их внедрения.

Главной целью энергосберегающей политики предприятия является снижение потребления топливно-энергетических ресурсов, вследствие чего изменятся такие параметры, как объем производства, состояние оборудования, качество продукции, характеристики продукции, величина издержек [3, с. 33].

Следующим этапом при выборе энергосберегающих проектов является ранжирование предложенных мероприятий, что позволит сформировать приоритетные направления энергосбережения с учетом их влияния на энергетическую политику предприятия. Ранжирование предложенных энергосберегающих проектов необходимо в связи с наличием финансовых ограничений. Соблюдение финансовых ограничений обеспечивается за счет оптимизации распределения необходимых затрат на проведение энергосберегающих мероприятий. Цель оптимизации – отбор наиболее экономически эффективных энергосберегающих мероприятий с учетом целей энергосберегающей политики предприятия [1, с. 31].

Для экономической оценки эффективности энергосберегающих проектов используются показатели, приведенные в таблице.

Таким образом, расчет данных показателей экономической оценки энергосберегающих мероприятий позволит проранжировать их и выделить приоритетные. С помощью данных показателей менеджеры предприятия смогут сопоставить полученный эффект с произведенными затратами, выбрать мероприятия, которые будут включены в программу энергосбережения предприятия.

Для отбора энергосберегающих проектов на начальном этапе с целью включения их в энергосберегающую программу субъекта хозяйствования предлагается использовать новый подход – комплексный интегральный показатель энергоэффективности инвестиционных проектов. Этот показатель легко позволяет составить приоритетный ранжированный ряд мероприятий с учетом срока службы энергосберегающего оборудования, т. е. долговечности проектов, потребности в инвестициях, а при необходимости – и с учетом уровня надежности применяемого оборудования.

Показатели экономической оценки энергосберегающих проектов

Показатель	Алгоритм расчета	Условные обозначения
1. Индекс энергоемкости продукции до и после внедрения мероприятия	$I_{\text{э}} = \frac{S_{\text{э}}}{\text{ВП}};$ $\Delta I_{\text{э}} = I_{\text{э}2} - I_{\text{э}1}$	$S_{\text{э}}$ – потребление энергетических ресурсов, тыс. р.; ВП – объем выпуска, тыс. р.; $I_{\text{э}2}$ – индекс энергоемкости продукции до внедрения энергосберегающих мероприятий; $I_{\text{э}1}$ – индекс энергоемкости продукции после внедрения мероприятий
2. Интегральный показатель расчетного экономического эффекта технологического энергосбережения от внедрения энергосберегающих мероприятий на промышленных предприятиях	$\text{ЭТЭ} = \Delta I_{\text{э}} + \Delta D$	$K_{\text{мод}}$ – коэффициент модернизации; ΔD – изменение коэффициента дефектности продукции после внедрения энергосберегающих мероприятий
3. Стоимость реализации мероприятия	$C = \sum_{i=1}^n C_i$	C_i – затраты на каждый из видов деятельности по реализации мероприятия, тыс. р.
4. Срок окупаемости энергосберегающего мероприятия	$= \frac{\text{ЧПА} - I}{I}$	ЧПА – сумма чистой прибыли и амортизационных отчислений от реализации мероприятий, тыс. р.; I – объем необходимых для реализации мероприятий инвестиций, тыс. р.
5. Чистый дисконтированный доход	$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧДП}_t}{(1+r)^t}$	r – ставка дисконтирования; ЧДП – чистый денежный поток периода t ; n – длительность проекта в периодах

Комплексный интегральный показатель эффективности энергосберегающих проектов рассчитывается по формуле

$$\text{КЭФ} = \frac{\sum_{t=1}^T \Delta B_t}{K},$$

где КЭФ — комплексный интегральный показатель энергоэффективности проекта, т у. т./р.; ΔB_t – экономия энергоресурсов в год t , т у. т.; T – горизонт расчета, определяемый продолжительностью проекта, лет; K – капиталовложения в проект, р.

Литература

1. Веревкин, Н. И. Экономия топливно-энергетических ресурсов : учеб. пособие / Н. И. Веревкин, Н. А. Давыдов, В. Б. Джерихов. – СПб. : СПбГАСУ, 2014. – 136 с.
2. Гулбрандсен, Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент : учеб.-метод. пособие / Т. Х. Гулбрандсен, Л. П. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск : БГАТУ, 2013. – 240 с.
3. Дубинский, М. Повышение энергоэффективности в промышленности / М. Дубинский // Энергосбережение. – 2012. – № 3. – С. 32–37.
4. Сенько, А. Н. Система обеспечения экономической безопасности промышленного комплекса Республики Беларусь: методология формирования и механизм реализации : учеб.-метод. пособие / А. Н. Сенько. – Минск : Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2015. – 195 с.

ИТ-СЕКТОР В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**В. О. Дербеева**

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. П. Драгун

В последние несколько лет за Беларусь в Европе и мире прочно закрепилась репутация ведущей «ИТ-страны» в Восточно-Европейском регионе. Согласно рейтингу Global Services 100, Беларусь заняла 13-е место среди 20 стран-лидеров в сфере ИТ-аутсорсинга и высокотехнологичных услуг. Кроме того, в ТОП-100 крупнейших мировых компаний данной сферы вошли три фирмы с белорусскими корнями: ЕРАМ Systems, IBA Group и Intetics Co. В ИТ-рейтинге ООН Беларусь занимает 48 место.

Проанализировав официальную статистику и вклад основных отраслей экономики в формирование ВВП, можно сделать вывод, что по предварительным данным уже по итогам 2015 г. ИТ-сектор (деятельность, связанная с вычислительной техникой) увеличил свою долю в ВВП до 2,1 % и обошел производителей машин и оборудования, доля которых снизилась и стала менее 2 % от ВВП [1].

Парк высоких технологий за 10 лет достиг объема выручки в \$ 1 млрд за 2016 г. В ИТ-бизнесе выручка – это чисто добавленная стоимость, которая формируется в Беларуси. Поэтому, когда говорят о том, что ИТ дает в объеме ВВП больше, чем вся машиностроительная отрасль, то подразумевают добавленную стоимость, которая формируется и остается в нашей стране.

Сегодня 49 % резидентов ПВТ – компании с белорусским капиталом и 51 % – с иностранным. На экспорт идет 80 % производимого в Парке программного обеспечения. В США и Канаду поставляется 45 %, в страны Европы 30 %, а в Россию и СНГ – 20 %.

По прогнозу Международной финансовой корпорации, к 2020 г. доход ИТ-отрасли Беларуси может достигнуть \$ 3–4 млрд, или 4–5 % общего объема ВВП страны за 2012 г. За время существования Парка при участии иностранных инвесторов было создано около 6 тыс. рабочих мест.

Самым необходимым условием для развития ИТ-сферы в Республике Беларусь является создание правильной экосистемы, правильной среды – кластер, который породит крупные компании. И если данную среду правильно создавать, поддерживать и развивать, то такие компании появятся сами. Этот подход уже доказал эффективность, так как всем известна Силиконовая долина [2].

Вследствие экономического кризиса 2015 г. в Беларуси очень остро встала необходимость проведения экономических реформ. Однако даже после проведения

реформ Беларусь рискует войти в стадию замедленного роста из-за отсутствия конкурентоспособных отраслей, способных стать драйверами экономического роста, поэтому существует необходимость создания национальной инновационной системы для обеспечения необходимой инфраструктуры, способствующей экономическому росту за счет создания инноваций.

Роль технологического кластера в Беларуси может сыграть именно ИТ-сектор, так как:

1. Сектор ИТ генерирует значительную прибыль при относительно низких удельных издержках на труд и сравнительно небольших затратах на инвестирование.

2. ИТ-индустрия обладает потенциалом создания так называемых «эффектов перетекания», за счет которых происходит рост смежных индустрий и (или) индустрий, взаимодействующих с ИТ-сектором и предоставляющих ему определенные услуги.

3. Беларусь обладает достаточно высоким уровнем развития человеческого капитала (т. е. качеством подготовки специалистов для ИТ) и в целом развитой инфраструктурой, необходимыми для дальнейшего роста ИТ-сектора.

4. ИТ-сектор в Беларуси с учетом текущего уровня развития обладает достаточным потенциалом для инвестирования в повышение качества человеческого капитала (открытие образовательных центров, исследовательских лабораторий и т. п.) и необходимую инфраструктуру, а также хорошей репутацией для привлечения иностранных инвестиций [3].

Невозможно никакими сторонними усилиями – государственными или иными – создать Microsoft, Apple или Google. Должна быть инициатива людей, которые живут этой идеей и которые воплотили бы эти идеи в виде таких корпораций. Поэтому действительно важно создать правильную среду, правильную экосистему – кластер как концентрацию организационных, человеческих и впоследствии финансовых усилий на одном направлении.

В перспективе в ИТ может произойти консолидация, останутся крупные игроки, которые будут доминировать – точно так же, как это наблюдается в биотехнологиях, машиностроении. Например, 15 лет назад было очень большое количество компаний, которые занимались поиском в Сети. На сегодняшний день осталось только несколько крупных компаний. Если говорить об англоязычном сегменте, то бросить вызов Google может только Microsoft со своим поисковым сервисом Bing. К примеру, пять лет назад компания, которая вложила \$ 35 млн на создание поисковой системы, стремилась отвоевать определенную долю у Google. Отличительной чертой являлось распределение рейтингов тем или иным ресурсам не автоматически, а через мнения пользователей. Пять лет проект продолжался, но затем был закрыт. Таким образом, \$ 35 млн не хватает для того, чтобы войти в этот рынок.

Действительно, бросать вызов крупным гигантам могут только крупные гиганты – в тех секторах, бизнес в которых уже определился. Но в каждом из секторов есть сегменты. И внутри них могут вырасти серьезные проекты: как Uber вырос, как выросли игровые проекты – проекты из Беларуси.

Основными трендами в ИТ являются:

1. *Сбор и обработка информации.* Компании, которые ориентированы на обработку информации, на работу с большими данными Data Mining, Big Data будут иметь перспективу. Причем в самых разных направлениях. Не обязательно быть гигантом, как Google. Информация и данные есть везде. Например, мы ходим, едем на автомобиле и в это время телефон отслеживает наш путь.

2. *Computer learning (компьютерное обучение).* Сфера, где действительно произойдет революция благодаря технологиям компьютерного обучения – life science.

К примеру, в США был расшифрован геном человека. Программа стоила \$ 3 млрд. Крейг Вентер был первым, чей геном расшифровали, это стоило на тот момент \$ 1 млн. Спустя 20 лет стоимость расшифровки ДНК стоит \$ 15 тыс. Возможно лет через десять расшифровать полный геном будет стоить \$ 1–2 тыс. Где здесь технология компьютерного обучения? Понятно, что расшифровать несколько азотистых оснований ДНК – это полдела, самое простое. Самое сложное – накопить достаточно данных для того, чтобы определить предрасположенность человека к онкологическим заболеваниям или болезни Альцгеймера. Для этого компьютер должен отсортировать очень большие массивы данных. Таким образом, возможно через 20 лет лекарства будут разрабатываться с учетом индивидуальных особенностей, знаний о человеке. Накопится огромная база данных.

3. *Индустрия 4.0 – вызов для белорусских государственных предприятий.* Ситуация, при которой отсутствует взаимодействие человека с человеком, например, при заказе и поставке товаров. Нет ни отдела снабжения, ни отдела сбыта. То же самое происходит и при использовании технологии «умных вещей» в быту. Машины взаимодействуют между собой, посылая необходимые сигналы. Получают информацию, которая необходима, и выполняют нужные пользователю действия [2].

Трудности в ИТ-отрасли сейчас заключаются не в дефиците денег, а в дефиците идей и в дефиците людей, которые способны реализовать идею. Начиная новый бизнес, не стоит фокусироваться только на монетизации проекта. Если вы порождаете новую технологию, то эту технологию в дальнейшем покупают.

Перспективой на будущее для нашей страны является создание кластера по значению и величине, как Силиконовая долина. Когда концентрация ИТ-специалистов на квадратный метр будет одной из самых высоких в мире, молодые люди будут сидеть в кафе и ресторанах, обсуждая не только других юношей и девушек, а говорить о том, как запустить новый стартап. И рассказывать о сверстниках, которые уже это осуществили.

Для молодых людей самый воодушевляющий фактор – когда ты, основываясь на своем интеллекте, никому не обязанный, создал бизнес, ставший мировым.

Таким образом, стимулирование развития сектора услуг позволит преодолеть кризисные явления в стране (создание рабочих мест и пр.), в то время как традиционные секторы экономики будут постепенно снижать свое влияние на формирование ВВП страны, оставаясь относительно крупными работодателями.

Позитивное влияние на экономический рост в малых и небольших странах оказывает существование таких институциональных структур, которые стимулируют экспорт новых технологий, а также обеспечивают стимулы для распространения новых технологий на внутреннем рынке, высокого разнообразия инновационной продуктивности в национальной экономике, заимствования технологий и знаний из-за рубежа.

Национальная инновационная система, в свою очередь, является такой структурой. Она обеспечивает взаимосвязи между системой образования, процессами исследований и разработок и компаниями, способствующими производству большего количества инновационных товаров и услуг [3].

Создание кластера информационных технологий позволит увидеть новые перспективы для развития страны в целом, так как темпы роста ИТ-сектора на данный момент выше других отраслей экономики, также создание кластера способствует появлению новых возможностей развития молодежи страны.

Литература

1. Статистические издания. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/>.
2. Главное условие для развития ИТ в Беларуси – создание правильной экосистемы. – Режим доступа: <https://probusiness.by/strategy/2539-valeriy-cepkala-glavnoe-usloviya-dlya-razvitiya-it-v-belarusi-sozdanie-pravilnoy-ekosistemy.html>.
3. Проект разработки предложений реформ, направленных на развитие it и инновационного сектора в Республике Беларусь / Белорус. ин-т стратег. исслед. – 2017. – Режим доступа: http://belinstitute.eu/sites/biss.newmediahost.info/files/attached-files/BISS_SA01_2017ru.pdf. – Дата доступа: 21.03.2017.

ПРОБЛЕМЫ ВЕНЧУРНОГО БИЗНЕСА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. И. Русинович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Е. В. Трейтьякова

Венчурный бизнес с середины XX в. развился в мощную мировую индустрию и зарекомендовал себя как один из наиболее эффективных инструментов инновационного развития экономики, долгосрочного экономического роста и благосостояния страны. Исходя из этого, в Беларуси необходимо развивать венчурное финансирование.

В качестве предпосылок для создания в Беларуси венчурных фондов выступает активно развивающееся в республике стартап-движение, например, Startup Weekend, генерирующее в среднем несколько сотен бизнес-проектов в год, а также появление частных инвесторов в виде бизнес-ангелов.

В ходе Всемирной недели предпринимательства в ноябре 2016 г. было объявлено о старте в Беларуси программы развития венчурной экосистемы AID-Venture. Проект при поддержке Агентства США по международному развитию (USAID) рассчитан на пять лет, а его финансирование составит \$ 2,5 млн. Реализовывать программу будет группа компаний Bel.biz совместно с юридической фирмой «Алейников и партнеры», международной образовательной программой для венчурных инвесторов Angel Labs и венчурным фондом 500 Startups [1].

На пути создания инновационной венчурной системы в Беларуси имеется ряд барьеров. Рассмотрим эти проблемы более подробно.

1. Отсутствует цепочка последовательных стадий инвестирования, состоящая из венчурных фондов разных стадий, управляющих компаний, опытных менеджеров и экспертов. Также отмечается отсутствие квалифицированных управляющих венчурными фондами, менеджеров, обладающих бизнес-навыками для коммерциализации научных разработок, низкое качество корпоративного управления. Недостаток опыта приводит белорусских инвесторов, например, к запуску новых проектов без уточнения «правил игры», методов расчета доли в новой компании, не говоря уже о политике «выхода» из проекта. Это приводит к тому, что более 50 % сделок структурируются за рубежом.

2. Непроработанность законодательства, в том числе в сфере защиты прав интеллектуальной собственности, недостаточное развитие фондового рынка для «выхода» инвесторов из профинансированных компаний и дальнейшего роста проекта, определение самих субъектов венчурной деятельности (включая использование в венчурном финансировании средств пенсионных и страховых фондов по примеру развитых стран).

Денис Алейников, старший партнер юридической фирмы «Алейников и партнеры», охарактеризовал белорусскую законодательную базу в области венчурного финансирования как «весьма небольшую». С 2012 г. в Беларуси действует Закон о государственной инновационной политике и инновационной деятельности. Он не регулирует понятие «венчурная деятельность» – только «венчурная организация» и «венчурный проект». Так, венчурная организация – это «коммерческая организация, являющаяся субъектом инновационной инфраструктуры, предмет деятельности которой состоит в финансировании инновационной деятельности». В этом определении содержится ключевое словосочетание, которое вызывает беспокойство юристов: «является субъектом инновационной инфраструктуры». Однако, чтобы стать «субъектом инновационной инфраструктуры», согласно Указу президента № 1 от 3 января 2007 г., нужно зарегистрироваться в качестве такого субъекта в Государственном комитете по науке и технологиям. Более того, по белорусскому закону, венчурный проект – это «инновационный проект, финансируемый венчурной организацией». Круг замыкается: венчурный проект должен финансироваться венчурной организацией, которая должна быть зарегистрирована в установленном порядке в ГКНТ. Если же инновационный проект финансируется банком или бизнес-ангелом – в Беларуси он не является венчурным [2].

3. Недостаточное количество венчурных инвесторов, в частности, из-за неразвитости механизмов государственно-частного партнерства. 10 ноября 2010 г. было создано Общественное объединение «Сообщество бизнес-ангелов и венчурных инвесторов «БАВИН» – первое формализованное объединение бизнес-ангелов республики, состоящее из 12 бизнесменов и топ-менеджеров из Минска. С 2011 г. в Беларуси действует AVI Investment Company – управляющая инвестиционная компания, занимающаяся привлечением инвестиций и являющаяся управляющей двух компаний, инвестирующих в IT-проекты.

По словам главы Bel.biz Татьяны Маринич, за последние три года стартапы, обучавшиеся на преакселерационной программе TechMinsk, привлекли 7 млн долл. «К сожалению, основные инвестиции в их проекты поступили от инвесторов из-за границы. В Беларуси пока нет экосистемы венчурных инвестиций, а ангельское инвестирование почти не развито. В то время как людей, которые могли бы стать ангельскими инвесторами, в Беларуси достаточно», — пояснила Маринич [3].

4. Отсутствие прорывных технологий. Проекты, ориентированные лишь на импортозамещение, в большинстве своем неинтересны для венчурных инвесторов, так как при высоких предпринимательских рисках не являются высокоприбыльными. На данный момент белорусские изобретатели привлекли к себе внимание иностранных инвесторов успешным выходом таких проектов, как MSQRD, Viber и некоторых других. Как отмечают инвесторы, новаторам хватает таланта и рискованности, однако не создана среда для быстрого развития и коммерциализации разработок.

5. Явная нестабильность экономики Республики Беларусь, что ограничивает горизонт планирования до трех лет. Соответственно, все проекты со сроком окупаемости больше трех лет сразу отсеиваются. А это является довольно серьезной проблемой, учитывая, что венчурные инвестиции, по определению, являются долгосрочными, обычно рассчитанными на 5–10 лет.

Резюмируя все рассмотренные проблемы, самыми важными можно назвать недостаточную законодательную базу в определении венчурной деятельности и «правил игры», а также в сфере защиты интеллектуальной собственности. Нужно также отметить, что изменение законодательства не принесет мгновенных результатов, работа по развитию венчурного бизнеса должна проводиться поэтапно, постепенно

решая возникающие проблемы и устраняя недочеты. Однако благодаря программе AID-Venture венчурная экосистема Беларуси может быть значительно улучшена, что поможет не только развитию инновационных стартапов в стране и выходу их на мировой рынок, но и привлечет внимание зарубежных инвесторов к разработкам наших соотечественников.

Литература

1. В Беларуси будут развивать венчурное финансирование // Информационный портал Беларуси «МойBY». – Режим доступа: <http://www.moyby.com/news/245441/>. – Дата доступа: 09.03.17.
2. Провалинская, Н. Почему в Беларуси нет венчурной экосистемы? / Н. Провалинская // IT в Беларуси. – Режим доступа: <https://dev.by/lenta/main/pochemu-v-belarusi-net-venchurnoj-ekosistemy>. – Дата доступа: 09.03.17.
3. США поможет развитию венчурной экосистемы в Беларуси // IT в Беларуси. – Режим доступа: <https://dev.by/lenta/main/ssha-pomozhet-razvitiyu-venchurnoy-ekosistemy-v-belarusi>. – Дата доступа: 09.03.17.

ДОХОДЫ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ РАСХОДЫ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ДИНАМИКА И ТЕНДЕНЦИИ

И. О. Шевелева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. В. Хаврукова

На современном этапе развития экономики Республики Беларусь достаточно важной является проблема снижения уровня жизни населения.

Уровень жизни, как правило, рассматривают как в узком смысле – уровень и степень обеспеченности людей материальными благами, так и в широком – весь комплекс социально-экономических условий жизни народа [4].

В данной работе рассмотрим экономический аспект уровня жизни, его составляющие в «узкой» трактовке. К таким составляющим в первую очередь можно отнести доходы и потребительские расходы населения, их структуру, так как именно они дают первичное представление о состоянии экономики страны.

Доходы населения – это все материальные средства, которые домохозяйства получают в результате своей экономической деятельности или в виде трансфертов. К доходам населения относят: оплату труда, доходы от предпринимательской и иной деятельности, трансферты населению, доходы от собственности и прочие доходы. В Республике Беларусь наибольший удельный вес в структуре доходов населения составляет оплата труда (более 60 %). Номинальная начисленная заработная плата на протяжении пяти лет сохраняет тенденцию роста. Так, в 2016 г. номинальная начисленная средняя заработная плата поднялась на 7,5 % и к концу 2016 г. составила 802 р. Однако реальная заработная плата за последние два года (2015–2016 гг.) снижается. В 2016 г. заработная плата составила 97,4 % от значения предыдущего года.

Анализируя динамику изменения всех доходов населения, можем видеть, что реальный располагаемый доход белорусов с 2006 по 2014 г. увеличивался (исключение – 2011 г.). Однако в 2015 г. динамика изменилась: отмечено падение до 94,1 % к уровню 2014 г., и уже в 2016 г. уровень реальных доходов населения Республики Беларусь рекордно снизился за последние 10 лет и составил 92,7 % к 2015 г.

Динамика изменений реальных располагаемых денежных доходов населения Республики Беларусь за последние 10 лет представлена на рис. 1.

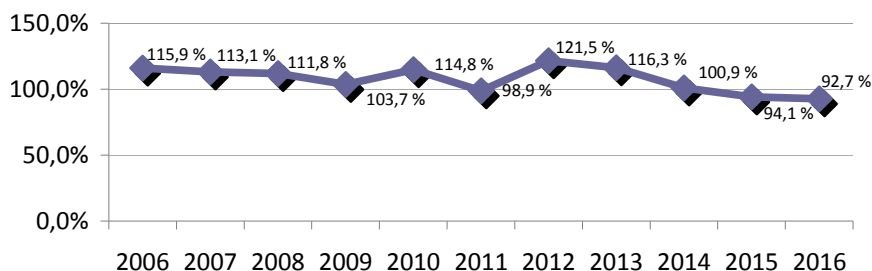


Рис. 1. Реальные располагаемые денежные доходы населения (в % к предыдущему году)

Примечание. Разработано автором на основе Статистического ежегодника за 2015 и 2016 гг. [2], [3].

Такую тенденцию к снижению можно объяснить тем, что реальные доходы падали за счет «всех источников»: за счет снижения реальных зарплат, реальных пенсий, а также доходов от предпринимательской деятельности, удельный вес которых сократился в общем объеме доходов населения. Данные явления возникли в связи с сжатием внутреннего и внешнего спроса. Экономические проблемы России, основного торгового партнера Беларуси, сказались на объемах поставляемых товаров и услуг, экспорт в Россию сократился более чем на 30 %, Республика Беларусь оказалась в глубоком кризисном положении.

Реальная зарплата снижается потому, что падает ВВП и выручка предприятий. Кроме того, ситуация на рынке труда остается напряженной, на предприятиях идет сокращение работников, поэтому у работодателей нет необходимости поднимать зарплату. Пенсии также значительно снижаются, в бюджете лишних денег нет, в Фонде социальной защиты – тоже, реальные зарплаты и занятость населения остаются низкими (в 2015 г. уровень безработицы увеличился на 79 % в сравнении с предыдущим годом, хотя в 2016–2017 гг. наблюдается тенденция сокращения этого показателя примерно на 18 %). Увеличение уровня безработицы означает, что и отчисления в фонд уменьшаются. Следует также отметить, что снижение доходов происходит и по причине инфляции (10,6 % в 2016 г.) [1].

Рассматривая доходы, важно понимать, что это достаточно широкое понятие. Этот показатель рассчитывается не на одного занятого, а в целом по населению, и так как количество занятого населения в стране уменьшается, доход на каждого человека падает. Кроме того, падение происходит очень неравномерно. Так, в Минске и Минской области снижение дохода пока не так заметно. В сельской местности, где есть свое хозяйство, это также переносится легче. В самой тяжелой ситуации оказались жители городов, где предприятия сократили свою производственную деятельность, а у рабочих снизилась заработная плата.

Что касается номинальных доходов, здесь, как это произошло и с номинальной заработной платой, в 2016 г. наблюдается увеличение. Так, первый заместитель министра труда и социальной защиты Андрей Лобович сообщил: «В прошлом году номинальные размеры всех видов доходов росли. Несмотря на то, что реальные доходы населения снижались, уровень малообеспеченности в республике вырос незначительно. Срабатывали защитные механизмы, которые ранее были заложены в законодательство. Поддержание уровня всех регулируемых министерством доходов остается нашей задачей и в 2017 г.».

Далее рассмотрим потребительские расходы домашних хозяйств. Проанализировав имеющиеся данные за 2011–2015 гг., можем сделать вывод о том, что с каждым годом потребительские расходы растут. В первую очередь это связано с повышением уровня цен. Размер расходов варьируется в зависимости от места проживания и состава домашнего хозяйства (количества человек в домашнем хозяйстве, отсутствия или наличия детей).

Также для получения представления о потребительских расходах населения необходимо рассмотреть структуру потребительских расходов населения.

Рассмотрим структуру потребительских расходов населения за 2011–2016 гг. Наибольший удельный вес в потребительских расходах населения занимают: питание, непродовольственные товары и оплата услуг, их удельный вес составил в 2016 г. 40,6, 33,0 и 23,2 % соответственно. В связи с полученными данными следует отметить, что низкий удельный вес расходов на питание является общепризнанным в мире показателем высокого уровня жизни. Так, в цивилизованных странах с высоким уровнем жизни на питание уходит 15–30 % потребительских расходов. У нас этот показатель отражает реально сложившийся уровень бедности населения, при низких доходах основная их часть уходит на обеспечение питания, мало средств остается на другие нужды.

Таким образом, в ходе данного исследования было выявлено, что последние пять лет в стране наблюдается значительное сокращение реальных доходов населения, несмотря на рост номинального денежного дохода, сокращается реальный размер всех денежных доходов: заработной платы, пенсий, доходов от предпринимательской деятельности. Растут потребительские расходы населения, при этом высокий удельный вес расходов приходится на питание.

В сложившихся условиях, когда для роста экономики источников нет, а кризис в стране углубляется, решение проблем необходимо искать как внутри страны, так и за ее пределами.

Что касается решения проблем внутри страны, необходимо оздоравливать экономику, принимать радикальные меры: менять систему управления предприятиями, сокращать затраты на управление, строить новые предприятия, максимально учитывая производственный потенциал страны и востребованность продукции той или иной отрасли, избавляться от неэффективно работающих предприятий. Процесс оздоровления экономики не будет быстрым, но заложит фундамент для будущего роста экономики.

Для регулирования внешнеэкономических связей необходимо налаживать отношения с имеющимися странами-партнерами, искать новых партнеров для сотрудничества и строительства совместных предприятий. Строительство новых предприятий позволит создать новые рабочие места и частично решить проблему безработицы. Повышение конкурентоспособности выпускаемых продуктов (соответствующее качество и цена) и поиск новых рынков сбыта приведет к увеличению экспорта и прибавлению денежных средств в бюджет, которые смогут способствовать решению других экономических проблем.

Экономика Республики Беларусь уже сейчас требует решительных действий, направленных на обеспечение условий роста денежных доходов населения и повышения их реального содержания и справедливого распределения. Последовательное повышение уровня оплаты труда как основного источника денежных доходов населения и важнейшего стимула трудовой активности работников наемного труда, сни-

жение уровня малообеспеченности, повышение уровня пенсионного обеспечения и социальной защиты малообеспеченных групп населения должно стать приоритетной целью социально-экономической политики государства.

Литература

1. Белорусский интернет-портал TUT.BY.ФИНАНСЫ / Почему падают реальные доходы белорусов. – Минск, 2017. – Режим доступа: <https://finance.tut.by/news524315.html>. – Дата доступа: 24.02.17.
2. Статистический ежегодник Республики Беларусь. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь (Белстат), 2015.
3. Статистический ежегодник Республики Беларусь. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь (Белстат), 2016.
4. Тихонов, А. О. Уровень жизни в Республике Беларусь: критический анализ / А. О. Тихонов // Белорус. экономика. – 2009. – № 2.

ИНТЕГРАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ И УНИВЕРСИТЕТОВ

Р. С. Руденко, Е. И. Серикова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. Н. Андриянчикова

В настоящее время, когда Республика Беларусь столкнулась с серьезными экономическими вызовами, насущной стала необходимость структурной перестройки экономики страны, перехода от сырьевой экономики к инновационной. В данных условиях для более динамичного трансферта знаний и технологий необходимо поэтапное ускоренное формирование инновационной инфраструктуры во всех областях жизнедеятельности, включая прорывные направления критических технологий. Задача повышения инновационной активности всех субъектов экономики является важнейшим приоритетом современной государственной политики Республики Беларусь [3].

Важнейшая роль при этом возлагается на университеты, в связи с чем в Беларуси и за рубежом идет активный поиск путей реформирования высшей школы с созданием университетов мирового уровня, включая интеграцию университетов. В современном мире требуется иной подход к процессу обучения нового поколения [1], [5].

Исследовательские университеты предлагают многоуровневые программы повышения квалификации и переподготовки. В отличие от узкоспециализированных учреждений они дают возможность реализовать разнообразные программы, основывающиеся на междисциплинированном подходе [2].

В современном мире организация производства стала невозможной без высококвалифицированной рабочей силы. В эпоху развития индустриализации при крупных предприятиях строились техникумы и вузы.

В настоящее время предприятия стали более требовательными к подготовке кадров в системе высшего образования. Им нужны кадры, способные эффективно работать в изменяющихся условиях, особое внимание уделяют ориентации на личность, позволяющей сокращать период освоения профессии. Основные компоненты, которыми должны обладать кадры, следующие: компетентность, адаптивность, мобильность и инновационность.

Компетентность – качество человека, обладающего всесторонними знаниями в какой-либо области и мнение которого потому является веским, авторитетным [4].

Компетентный специалист обладает творческим потенциалом саморазвития. Он ставит цели и несет самостоятельную ответственность. Свои знания и навыки реализует постоянно в работе.

Адаптивность – интеллектуальное качество личности, выражающее способность человека менять способы мышления и интеллектуальной деятельности соответственно поставленным умственным, в том числе учебным задачам и условиям их решения [4]. Речь идет о гибкости, выносливости, умении приспосабливаться к новой обстановке.

Мобильность – термин, обозначающий движение, подвижность [4]. Способность к перемене трудовых функций по форме и содержанию на основе сознательного выбора условий для реализации.

Инновационность – нововведение, внедрение новшества, обеспечивающее качественный рост эффективности процессов [4]. Например, новый метод, прием. Развитие инновационности происходит по всему миру и при этом главная роль отводится высшему образованию.

Министерство образования и науки инициировало интеграционные процессы, что обуславливает необходимость изучения зарубежного опыта в этой сфере. Этот опыт позволяет выявить три основных стратегии создания университетов мирового класса, при которых правительство [3]:

- выбирает несколько из существующих вузов для превращения в передовые учебные заведения и оказывает им существенную поддержку;
- стимулирует вузы к слиянию, обеспечив синергизм трансформаций;
- создает новый университет мирового класса с нуля.

Интеграция (от лат. *integratio* – восстановление, восполнение) – объединение в целое каких-либо частей, элементов [1].

Главной проблемой становится определение форм и методов образовательного процесса в университетах. Современное развитие экономики требует перестроить формы и методы образования. Для этого требуются знания и навыки в условиях научно-технического прогресса, также развитие инфраструктуры (дороги, транспорт, связь). Интеграция является процессом длительным и рассматривается с разных сторон.

Интеграция состоит из следующих этапов: 1) приобретение студентом новых знаний; 2) использование этих знаний в научно-исследовательской работе; 3) получение результата; 4) экспериментирование до его воплощения в технологический процесс; 5) одобрение технологического процесса; 6) запуск технологического процесса в производство.

Интеграция образования и производства в зарубежных университетах развивалась на протяжении долгого времени. Она доказала свою мощь и перспективность. Исследовательские университеты зарекомендовали себя как успешная форма интеграции образования и науки. Там расположены аудитории как для лекционных занятий, так и различные лаборатории, в которых и происходит исследовательская деятельность, информационный обмен как между студентами, так и студентами и преподавателями [2].

Университеты, которые основаны на такой форме интеграции, пользуются большей поддержкой из бюджета федерального правительства для проведения научной и образовательной деятельности. 100 ведущих исследовательских университетов США получают 95 % средств федерального бюджета для исследовательских и научных целей. Подготовка специалистов наивысшей квалификации также ориен-

тирована в университетах: 60 % докторантов США подготовлено в 50 исследовательских университетах. Эти университеты имеют большое количество студентов, обучающихся по магистерским программам, а также лучшее соотношение между численностью преподавателей и студентов (1 : 6), в то время как в обычных вузах соотношение (1 : 2) [2].

Основной характеристикой интеграции университетов и предприятий является наличие прочных связей с промышленностью. Результатом взаимодействия сферы науки и производства является разработка и внедрение инноваций в производство (рис. 1).

За 2005–2015 гг. можно наблюдать увеличение числа промышленных предприятий, активно внедряющих инновации, с 318 единиц в 2005 г. до 342 в 2015 г.

Наблюдается положительная динамика, однако при детальном рассмотрении видим, что максимальное число инновационных предприятий было в 2011 г. – 443 ед. (рис. 1). В то же время после 2011 г. наблюдается устойчивая тенденция сокращения числа инновационно-активных предприятий.

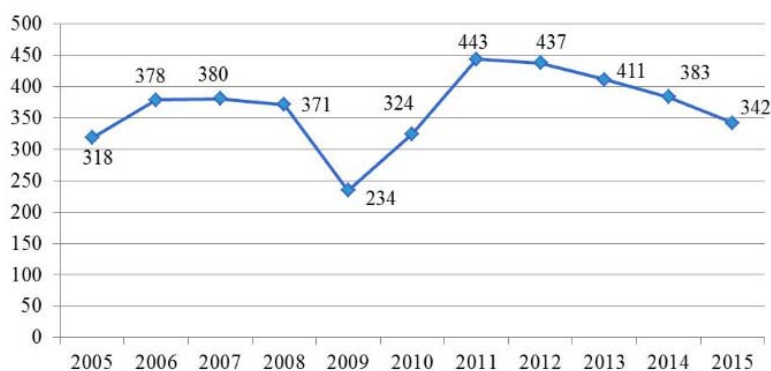


Рис. 1. Динамика числа инновационно-активных предприятий промышленности в Республике Беларусь за 2005–2015 гг. [6]

Таким образом, в Республике Беларусь наблюдается низкий уровень взаимодействия предприятий и университетов. Для повышения инновационной активности предприятий необходимо разработать модель взаимодействия высших учебных заведений и сферы производства, направленной на повышение конкурентоспособности не только высшего профессионального образования, но и предприятий и отраслей, активно использующих потенциал интеграции университетов для развития своей экономики и социальной сферы.

Литература

1. Национальная энциклопедическая служба. – Режим доступа: <http://vocabulary.ru/slovari/psihomotorika-clovar-spravochnik.html>. – Дата доступа: 11.03.2016.
2. Cyberleninka. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-osuschestvleniya-integratsii-obrazovaniya-nauki-i-biznesa-v-universitetah-za-rubezhom>. – Дата доступа: 10.03.2016.
3. Салми, Д. Создание университетов мирового класса структур : монография : пер. с англ. / Д. Салми. – М. : Весь Мир, 2009. – 132 с.
4. Словари и энциклопедии. – Режим доступа: dic.academic.ru. – Дата доступа: 16.03.2016.
5. Шегельман, И. Р. Университет в инновационном пространстве региона / И. Р. Шегельман, А. В. Воронин // Высш. образование России. – 2010. – № 8–9/10. – С. 77–80.
6. Республика Беларусь в цифрах, 2016 гг. : стат. информация / М-во статистики и анализа Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 06.03.2016.

ДИНАМИКА И СТРУКТУРА ДОХОДОВ И РАСХОДОВ ДОМОХОЗЯЙСТВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. П. Равковская

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель О. В. Телегина

Домохозяйства как экономический субъект играют важную роль в экономическом развитии, являясь значимым потребителем, формирующим спрос на конечные товары и услуги в экономике. Уровень и структура потребительских расходов зависят от уровня доходов населения, который связан с состоянием национальной экономики.

После валютного кризиса 2011 г., который привел к резкому снижению реальных доходов населения (рис. 1), в период с 2012 по 2014 г. доходы имели тенденцию роста, хотя и с замедлением его темпов. Так как кризис в первую очередь сказывается на наименее обеспеченных категориях населения с фиксированными доходами, то снижение реальных доходов пенсионеров в 2011 г. оказалось более значительным (22,9 %), чем в целом у всего населения (1,1 %). Поэтому правительством были приняты меры, направленные на поддержание реальных доходов данной категории граждан (на 64,6 % по сравнению с 21,5 % у всего населения).

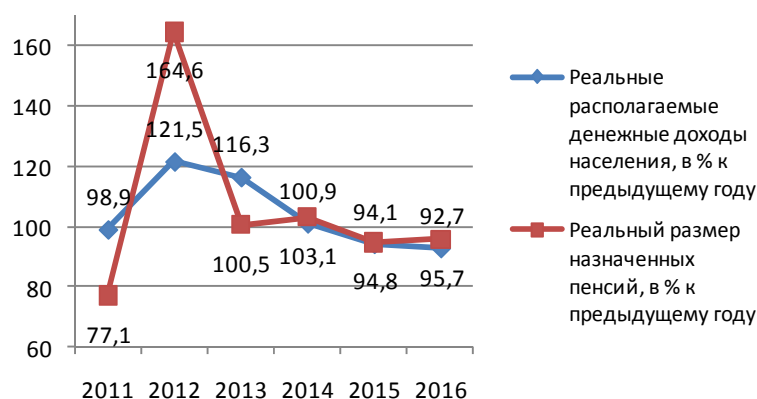


Рис. 1. Динамика реальных доходов населения Республики Беларусь за 2011–2016 гг. [1]

Последовавший в 2015 г. следующий белорусский кризис привел к снижению ВВП на 3,8 % (впервые с 1995 г.), а соответственно, и снижению реальных доходов населения. Так, реальные располагаемые денежные доходы всего населения упали на 5,9 % по сравнению с предыдущим годом, реальный размер пенсий — на 5,2 %. В 2016 г. спад реальных доходов населения продолжился. Пенсионеры за год потеряли 4,3 % реальных размеров пенсий, все население в целом — 7,3 % реальных располагаемых доходов. Снижение реальных размеров пенсий на меньшую величину по сравнению со всем населением свидетельствует о том, что их величина близка к прожиточному минимуму и правительство вынуждено было индексировать их, чтобы не допустить снижения пенсий ниже порога бедности.

В структуре денежных доходов населения за 2011–2016 гг. также произошли некоторые изменения. Основными источниками формирования денежных доходов

населения являются оплата труда и трансферты населению, удельный вес которых в общем объеме денежных доходов населения в 2016 г. составил, соответственно, 61,9 и 23,9 % (рис. 2).

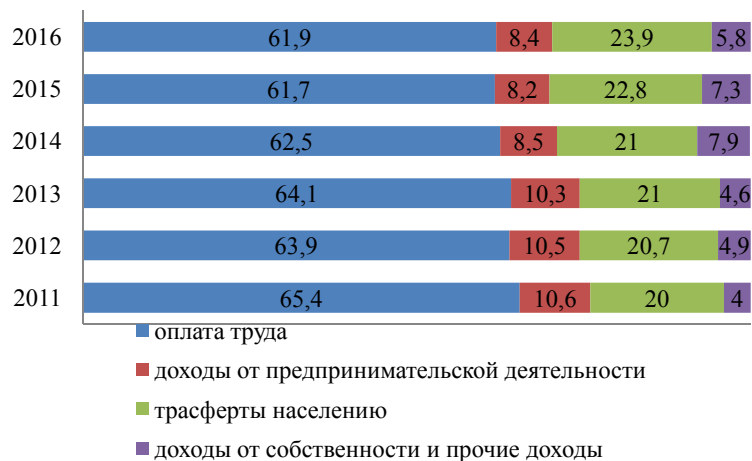


Рис. 2. Структура доходов населения Республики Беларусь за 2011–2016 гг. [1]

Однако доля оплаты труда в общих доходах домохозяйств за анализируемый период снизилась (на 3,5 %), а доля трансфертов – выросла (на 3,9 %), что говорит о снижении реальной средней заработной платы в стране и росте числа малообеспеченных граждан. С одной стороны, чувствуется поддержка населения со стороны государства, а с другой – стоит задуматься о том, что такая значительная роль трансфертных выплат в формировании доходов населения снижает его активность.

Третьей по значимости статьей доходов населения является предпринимательская деятельность. Ее роль в формировании общих денежных доходов населения существенно уступает развитым странам. И данная ситуация за последние годы усугубилась: доля доходов от предпринимательской деятельности с 10,6 % в 2011 г. снизилась до 8,4 % в 2016 г. Связана такая негативная тенденция не только с макроэкономической нестабильностью и соответствующим падением спроса, но и с административными сложностями функционирования малого бизнеса: постоянно меняющимся законодательством, высокими штрафами за допущенные нарушения, сложностью процедур сертификации, лицензирования и т. п.

По структуре денежных расходов населения (рис. 3) видно, что наибольшая часть доходов населения – более 70 % – уходит на потребление. Большая часть оставшихся денежных средств уходит на вклады и сбережения – около 10 %. Снижение доли потребительских расходов после кризисного 2011 г. длилось до 2015 г. (с 77,7 до 73,3 %), свидетельствуя о восстановлении реальных доходов населения. Несмотря на начавшийся в 2015 г. спад белорусской экономики, сопровождавшийся снижением реальных доходов, доля потребительских расходов населения в этот период сохранилась почти неизменной. Лишь в 2016 г., с некоторым запозданием, домохозяйства отреагировали на экономический спад. Произошли структурные сдвиги в расходах домохозяйств: доля потребления за год выросла на 1,5 % (до 74,8 %), а доля вкладов и сбережений снизилась на 1 % (с 10,9 до 9,9 %). Данный временной лаг можно объяснить желанием населения сохранить прежний достигнутый уровень потребления за счет накопленных ранее сбережений. С другой стороны, снижение реальных доходов привело к снижению осуществляемых в данный период сбережений.

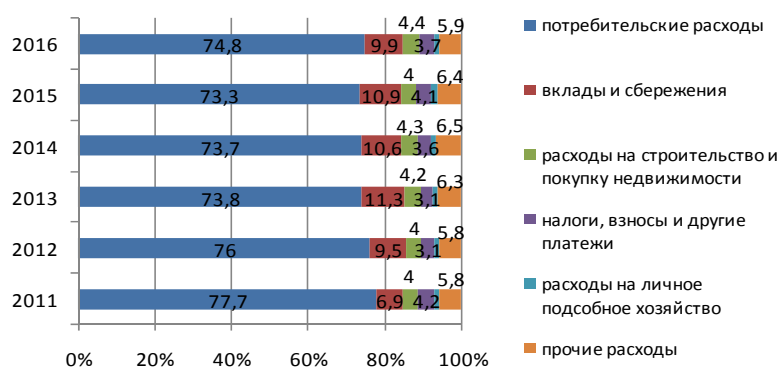


Рис. 3. Структура расходов населения Республики Беларусь за 2011–2016 гг. [1]

Динамика структуры потребительских расходов (рис. 4) также выражает общие тенденции анализируемого периода. Доля расходов на питание остается главной статьёй потребительских расходов домохозяйств (более 40 %). На втором месте – непродовольственные товары, доля которых даже в сравнении с кризисным 2011 годом упала за 6 лет на 5,4 % (с 37 % в 2011 г. до 31,6 % в 2016 г.). Рост доли оплаты услуг вырос на 5,3 % за шестилетний период, вероятно за счет удорожания жилищно-коммунальных услуг и услуг связи и составил 23,6 % в 2016 г. против 18,3 % в 2011 г.

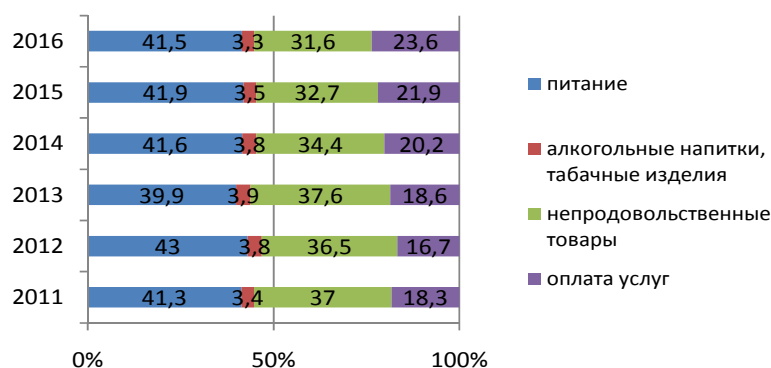


Рис. 4. Динамика структуры потребительских расходов населения Республики Беларусь за 2011–2016 гг. [1]

Таким образом, можно говорить о том, что уровень доходов не позволяет белорусам серьезно изменить свой образ жизни. Невысокий уровень доходов домохозяйств Республики Беларусь, имеющий в последние два года отрицательную тенденцию по причине спада национальной экономики, предопределяет негативную динамику и ухудшение структуры расходов. Снижающиеся расходы основных потребителей неизбежно ведут к усугублению ситуации в реальном секторе экономики, что порождает стагнацию и уменьшает возможности экономики выйти на траекторию роста.

Литература

1. Сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by>. – Дата доступа: 15.04.2017.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Р. С. Руденко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. М. Бондарева

Переход страны к устойчивому развитию во многом определяется ее ролью и местом в мировом сообществе, имеющимися национальными ресурсами, созданным социально-экономическим потенциалом и возможностями его наращивания. Национальное богатство Республики Беларусь представлено совокупностью накопленных материальных благ, созданных трудом людей, которыми в настоящее время располагает общество, а также человеческим и природным капиталами. По имеющимся оценкам доля человеческого капитала в национальном богатстве Беларуси составляет более 55 %, что выше, чем в других странах СНГ [4].

В рейтинге человеческого развития ПРООН ООН 1993–2011 гг. Беларусь в основном занимала места с 53-го (2001 г.) по 68-е. В 2015 г. Беларусь заняла 52-е место, ИЧР равен 0,796. Россия, к примеру, занимает 48-е место в рейтинге, что составляет 0,804. Для сравнения, первое место в рейтинге занимает Норвегия с ИРЧП 0,949 [6]. Развитие человеческого капитала (включая повышение уровня благосостояния, увеличение продолжительности жизни, укрепление здоровья граждан и их образование), а также инновационное развитие – важнейшие приоритеты Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2015–2020 гг.

Анализ данных Национального статистического комитета Республики Беларусь показывает, что число высших учебных заведений в Беларуси за последние 10 лет остается практически неизменным – около 54 учреждений, а число учащихся в них уменьшается как в абсолютном показателе, так и относительно общего населения в стране. Так, в 2016/2017 учебном году количество студентов сократилось на 23,2 тыс. человек по сравнению с предыдущим годом. На рис. 1 видно, что в стране значительно больше студентов высших учебных заведений, чем средних специальных.



Рис. 1. Численность обучающихся в учреждениях среднего специального и высшего образования на 10000 человек населения [5]

Значительную угрозу для перспектив реализации человеческого капитала страны представляет переживаемый страной демографический кризис. Его наиболее существенными чертами являются: высокая естественная убыль, постарение населения, высокая преждевременная смертность лиц трудоспособного возраста, невысокая в срав-

нении со среднеевропейскими показателями продолжительность жизни. Большую проблему для Беларуси представляет устойчивый отток наиболее молодого и образованного населения за границу (так называемая «утечка мозгов» и «утечка мускулов»), происходящий на фоне роста числа мигрантов. По ожидаемой продолжительности жизни (73,9 лет) мы занимаем 92 место в мире. Показатель является довольно низким на фоне таких стран, как Япония (83,6), Швейцария (82,5). Особую актуальность приобретает улучшение системы здравоохранения, повышение эффективности оказания качественной медицинской помощи, доступной всем категориям населения страны. В связи с этим вполне закономерным является необходимость увеличения социальных расходов государственного бюджета Беларуси и постановка задачи снижения уровня и смертности в программных документах.

Численность и естественный прирост населения [3]

Годы	Все население, тыс. человек	В том числе		Естественный прирост, тыс. человек
		городское	сельское	
2007	9579,5	6963,9	2615,6	-29,4
2008	9542,4	6989,2	2553,2	-26,0
2009	9513,6	7027,1	2486,5	-25,8
2010	9500,0	7077,1	2422,9	-29,1
2011	9481,2	7122,4	2358,8	-25,9
2012	9465,2	7175,0	2290,2	-10,6
2013	9463,8	7220,9	2242,9	-7,3
2014	9468,2	7274,8	2193,4	-3,0
2015	9480,9	7325,0	2155,9	-1,0
2016	9498,4	7270,1	2128,3	-1,6

В период с 2007 по 2013 г. можно заметить тенденцию снижения общей численности населения, а затем наблюдается постепенное ее увеличение (см. таблицу). Сельское население ежегодно сокращалось как в числовом, так и в процентном исчислении по отношению к общей численности населения. Городское население, напротив, ежегодно возрастало, что связано со стремлением людей получить лучшие условия работы, образования и т. д. На протяжении рассматриваемого периода удалось сократить естественную убыль населения. Отличительная черта демографических показателей последних лет в том, что положительное сальдо миграции полностью компенсировало естественную убыль, благодаря чему прервана многолетняя тенденция депопуляции. Поэтому можно сказать, что предпринимаемые в стране меры эффективны.

Особо острой из демографических проблем, кроме проблемы высокой смертности, остается проблема старения нации. Увеличение в населении доли и численности лиц старших возрастов – глобальный процесс, обусловленный, с одной стороны, повышением уровня и качества жизни и, как следствие, увеличением ожидаемой продолжительности жизни. С другой стороны, старение населения обусловлено длительным, устойчивым снижением рождаемости, не обеспечивающим простое воспроизводство населения. По данным на начало 2017 г., число лиц старше трудоспособного возраста неуклонно увеличивается, число детей стабилизировалось. На рис. 2 заметно увеличение населения в возрасте от 0 до 4 лет, что говорит об увеличении рождаемости.

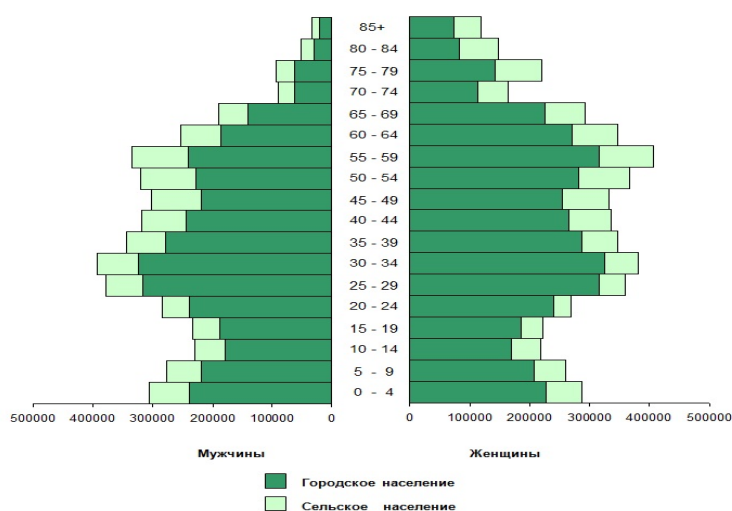


Рис. 2. Половозрастная пирамида населения (на 1 января 2017 г.; человек), возраст, лет [3]

Подводя итоги, следует отметить, что для человеческого капитала Беларуси характерны высокий уровень грамотности и большое количество людей с высшим образованием. В Беларуси остро стоят демографические проблемы, что указывает на необходимость улучшения системы здравоохранения и задействования механизмов государственного регулирования данной отрасли. Положительная динамика экономического развития является основой для инвестирования в человеческий капитал. Последние – основой для роста национальной экономики.

Применение мер активной государственной политики, сформулированных в программах экономического развития, позволяет увеличить рождаемость, уменьшить естественную убыль, увеличить численность населения страны. Очевидно, что политика инвестирования в человеческий капитал должна быть частью экономической политики, она должна охватывать все многочисленные спектры жизнедеятельности общества, которые оказывают прямое и косвенное воздействие на трудовой потенциал страны. Для увеличения продуктивности мер, стимулирующих развитие человеческого капитала, необходимо, во-первых, соблюдать принцип преемственности регулятивных мер, во-вторых, усилить меры государства и общества по преодолению факторов, тормозящих развитие человеческого капитала.

Литература

1. Data refer mostly to the year 2012. World Economic Outlook Database-April 2013, International Monetary Fund. Accessed on 20 April 2013.
2. Khalid, M. Director and lead author. Summary / M. Khalid ; Human Development Report 2013 // The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World. Published for the United Nations Development Programme (UNDP). – 28 с.
3. Демографический ежегодник Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2016. – 443 с.
4. Министерство экономики Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.economy.gov.by/ru/macroeconomy>. – Дата доступа: 04.03.2017.
5. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2016 : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2016. – 519 с.
6. Список стран по индексу человеческого развития. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_индексу_человеческого_развития. – Дата доступа: 04.03.2017.

СЕКЦИЯ VI ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

РАЗВИТИЕ АГРОЭКОТУРИЗМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПРАВОВЫЕ УСЛОВИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

В. В. Евтушенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Н. В. Ермалинская, Т. Г. Фильчук

Введение. В настоящее время агроэкотуризм является новой сферой деятельности для нашей страны, которая рассматривается как важная составляющая национальной экономики, как динамично развивающийся сегмент туристического рынка во всех регионах Беларуси. Сегодня гостей принимают более чем в 180 усадьбах, расположенных в самых живописных уголках республики [2].

В 2011 г. число субъектов агроэкотуризма составило 1576, в т. ч. в Гомельской области – 332. Численность туристов, воспользовавшихся услугами агроэкотуризма в 2011 г., составила более 145 тыс. человек, что в 1,2 раза больше, чем в 2010 г. Граждане Республики Беларусь в общем числе агроэкотуристов составили 85,2 %, граждане России – 10,5 %, Украины – 1,2 %, Польши – 0,6 %. Средняя продолжительность пребывания туристов в агроэкоусадебках составила 7,2 дня (в 2010 г. – 2,6 дня) [3].

По сравнению с 2011 г. в 2012 г. наблюдается существенная положительная динамика развития в данной сфере: число субъектов агроэкотуризма составило 1775 человек (на 13,2 % больше), численность туристов – 223 тыс. человек (на 54 % больше). Следует особо отметить, что за указанный период число иностранцев, посетивших нашу страну с целью агроэкотуризма, возросло в 1,8 раза. Значительный приток агроэкотуристов отмечается в Минской, Могилевской и Гродненской областях. Средняя продолжительность пребывания туристов в агроусадебках в 2012 г. в Гродненской области снизилась и составила 4 дня, в то время как в Могилевской области выросла до 10,5 дней [3].

Таким образом, несмотря на то, что агроэкотуризм в Беларуси находится на стадии формирования, его развитие позволит получить значимые экономические выгоды как для жителей деревень (дополнительный доход, улучшение качества жизни в деревне), так и для местных властей и региона (приток дополнительных средств, развитие инфраструктуры, создание новых рабочих мест), а также страны в целом (возможность развития туризма за пределами городов, привлечение иностранных туристов и приобретение положительного туристского имиджа среди других стран).

Основная часть. На сегодняшний день агроэкотуризм – многостороннее явление, которое исследуется с различных позиций. *Во-первых*, с точки зрения туризма как экономического вида деятельности – это «набор разнообразных услуг от проживания в сельском доме, экологических туров, приключенческих походов до непосредственного участия в жизни местного населения» [4]. *Во-вторых*, с географической точки зрения – это «туризм за пределами городской черты на территории с низкой плотностью населения» [4], возможность для жителей крупных городов получить отдых в экологически чистых уголках, насладиться природными пейзажами

благодаря богатым природным и водным ресурсам, экологически чистой местности и историко-культурному наследию Республики Беларусь [2]. *В-третьих*, с экономической точки зрения – это особый вид агробизнеса, эффективность осуществления которого, также как и непосредственное ведение сельскохозяйственного производства, во многом зависит от природно-климатических факторов.

Существующая нормативно-правовая база Республики Беларусь не только определяет законодательные основы оказания услуг в сфере агроэкотуризма, но и объединяет описанные выше точки зрения на содержание понятия «агроэкотуризм».

Порядок осуществления деятельности в сфере агроэкотуризма регулируется Указом Президента Республики Беларусь от 2 июня 2006 г. № 372 «О мерах по развитию агроэкотуризма в Республике Беларусь» (далее – Указ № 372), Налоговым кодексом, постановлением Совета Министров от 29 июня 2006 г. № 818 «Об утверждении Типового договора на оказание услуг в сфере агроэкотуризма», постановлением Министерства по налогам и сборам от 24 января 2011 г. № 4 «Об установлении формы информации о заключении (незаключении, отсутствии) договоров на оказание услуг в сфере агроэкотуризма в отчетном году и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства по налогам и сборам Республики Беларусь» и Кодексом об административных правонарушениях [1].

По результатам изучения законодательных основ осуществления агроэкотуристической деятельности в Республике Беларусь нами выделен ряд условий, определяющих ее правомерность: субъективные, объективные и содержательные (экономические, туристические) (см. таблицу).

Условия оказания услуг в сфере агроэкотуризма в Беларуси

Субъекты (объекты)	Требования
1. Субъективные условия	
Физические лица	Должны постоянно проживать в сельской местности, малых городских поселениях и вести личное подсобное хозяйство
Сельскохозяйственные организации	Должны осуществлять производство и (или) переработку сельскохозяйственной продукции, выручка от реализации которой составляет не менее 50 % общей суммы выручки
2. Объективные условия	
Собственность	Наличие принадлежащих на праве собственности физическому лицу (и (или) члену его семьи) либо сельскохозяйственной организации жилого дома (квартиры в жилом доме) или нескольких жилых домов (квартир в жилых домах), расположенных в сельской местности, малых городских поселениях
Состояние объекта	Жилой дом (квартиры в жилом доме) должен отвечать установленным санитарным и техническим требованиям, быть благоустроенным
	В жилом доме (части жилого дома) для размещения агроэкотуристов должно быть наличие свободных жилых комнат
3.1. Содержательные (экономические) условия	
Вид деятельности	При предоставлении не более 10-ти жилых комнат для размещения агроэкотуристов деятельность не считается предпринимательской; более 10-ти – эта деятельность признается предпринимательской и подлежит налогообложению в установленном порядке

Окончание

Субъекты (объекты)	Требования
Набор услуг	Предоставление жилых комнат для размещения агроэкотуристов; обеспечение агроэкотуристов питанием (как правило, с использованием продукции собственного производства); организация познавательных, спортивных и культурно-развлекательных экскурсий и программ; иные услуги, связанные с приемом, размещением, транспортным и иным обслуживанием агроэкотуристов
Условия оказания услуг	Физические лица могут осуществлять деятельность без государственной регистрации в качестве индивидуальных предпринимателей
	Сельскохозяйственные организации должны вести отдельный учет доходов, получаемых от данного вида деятельности, и доходов, получаемых от реализации произведенной и переработанной сельскохозяйственной продукции, других видов хозяйственной деятельности
3.2. Содержательные (туристические) условия	
Должны быть обеспечены возможности ознакомления агроэкотуристов с природными и архитектурными объектами, национальными культурными традициями соответствующей местности	

Примечание. Таблица составлена автором на основе источника [1].

Указом № 372 предусмотрено предоставление кредитов ОАО «Белагропромбанк» субъектам агроэкотуризма для реализации проектов в сфере агроэкотуризма в 2010–2020 гг. в сумме до 2000 базовых величин на срок до 5 лет (физическим лицам – до 7 лет) с уплатой процентов в размере 5 % годовых. Данный указ стимулирует рост объемов услуг, оказываемых субъектами агроэкотуризма, способствует развитию инфраструктуры сельской местности, малых городских поселений, повышению занятости граждан.

Следует также отметить, что благодаря активной маркетинговой работе Беларусь стала более узнаваемой. Туристический потенциал агроусадеб представляется на крупных туристических выставках. Ежегодно издаются каталоги агроусадеб как на республиканском, так и на областном уровне. 2013 год в Беларуси был объявлен годом «Зеленого туризма». А в качестве приоритетных направлений рассматривается развитие туристических кластеров, «зеленых маршрутов» и всевозможных фестивалей. Кроме того, в Беларуси может появиться первый агротуристический курорт [3].

Заключение. Таким образом, в Республике Беларусь агроэкотуризм находится на стадии динамичного развития, основой которого, безусловно, является живописная белорусская природа и историко-культурное наследие нашего народа.

На сегодняшний день в республике разработана и продолжает совершенствоваться нормативно-правовая база в сфере данного вида туризма при содействии ОАО «Белагропромбанк», реализуются программы развития агроэкотуризма, ведется работа по продвижению агротуристического продукта на международном и внутреннем рынках. Однако для дальнейшего развития необходимо привлекать иностранных туристов, перенимать опыт стран-соседей, улучшать качество и расширять спектр оказываемых услуг. Комплексный подход к решению поставленных задач даст импульс развитию сельских регионов республики и, как следствие, окажет положительное влияние на экономику страны.

Литература

1. О мерах по развитию агротуризма в Республике Беларусь : Указ Президента Респ. Беларусь, 02 июня 2006 г., № 372 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 01.10.2016.
2. Устюшенко, Н. А. Агротуризм в Республике Беларусь / Н. А. Устюшенко, Т. В. Борздовая // Материалы Международной научной конференции молодых ученых Государственного института управления и социальных технологий. – 2011. – № 12. – С. 47–57. – Режим доступа: <http://www.simst.bsu.by/main/departments/realestate/staff/borzdova/publications/2-23.pdf>. – Дата доступа: 04.04.2017.
3. Раздел «Новости» // Сайт Белорус. обществ. об-ния «Отдых в деревне». – Режим доступа: <http://ruralbelarus.by/news.php.html>. – Дата доступа: 01.10.2016.
4. Страус на приусадебном участке: основы содержания и разведения // Сайт «Зоохозяйство». – Режим доступа: <http://zoohoz.ru/drugie-pticy/straus-osnovy-soderzhaniya-5382/#ixzz4V4M5nL2x>. – Дата доступа: 01.10.2016.

РАЗВИТИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ВОЗМОЖНОСТИ, РИСКИ, БАРЬЕРЫ

А. С. Морозов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Г. А. Рудченко

Распределенное производство энергии – концепция строительства источников энергии распределительных сетей, которая подразумевает наличие множества потребителей, производящих тепловую и электрическую энергию для собственных нужд, а также направляющих излишки в общую сеть (электрическую или тепловую).

Основной признак таких генерирующих объектов – обеспечение полной автономии и независимости от централизованного энергоснабжения законных владельцев данных объектов и потребителей.

В качестве дополнительных источников электроэнергии могут применяться как средства альтернативной энергетики (солнечные батареи, ветровые генераторы, топливные элементы), так и традиционные когенерационные установки (КГУ) малой и средней мощности, работающие на природном газе (как на наиболее чистом виде топлива).

В настоящее время происходит переосмысление перспективной модели энергоснабжения. С ростом разнообразия требований потребителей к качеству энергоснабжения, появлением и активным развитием технологий малой распределенной энергетики и интеллектуальных энергетических систем стали четко просматриваться недостатки модели централизованного энергоснабжения от крупных источников и теплоснабжения от котельных.

Основными факторами роста интереса к концепции распределенных систем стала, с одной стороны, стагнация в области «большой энергетики». Отсутствие серьезных инноваций в технологиях производства и передачи электроэнергии, растущий дефицит и дороговизна топлива наряду с наличием принципиально неустрашимых потерь при транспортировке электроэнергии и тепла в сетях, ужесточение экологических требований делают компании «большой энергетики» менее привлекательными среди клиентов. Происходящие повсеместно процессы децентрализации и специализации бизнеса и особенно промышленного производства требуют адекватной гибкости, специализации эффективности от энергетических компаний. Удовлетворить эти требования и призвана концепция распределенной генерации.

Электроэнергетические системы будущего схематически можно представить, как показано на рис. 1. Электроэнергетические системы будущего должны сочетать крупные источники электроэнергии, без которых проблематично электроснабжение крупных потребителей и обеспечение целесообразных темпов роста электропотребления, а также распределенную генерацию.

Крупные электростанции имеют трансформацию на напряжения 110 кВ и выше и выход в основную сеть высших напряжений, осуществляющую транспорт электроэнергии до крупных центров потребления.

В то же время должны получить существенное развитие установки распределенной генерации, в том числе на ВИЭ, которые устанавливаются в распределительной сети 6–35 кВ.

Третий уровень составят мини- и микроустановки (мини- и микроГЭС, ВЭУ, солнечные электростанции, топливные элементы и т. д.), которые подключаются на напряжение 0,4 кВ и устанавливаются у небольших потребителей, например, в отдельных домах или даже в квартирах.

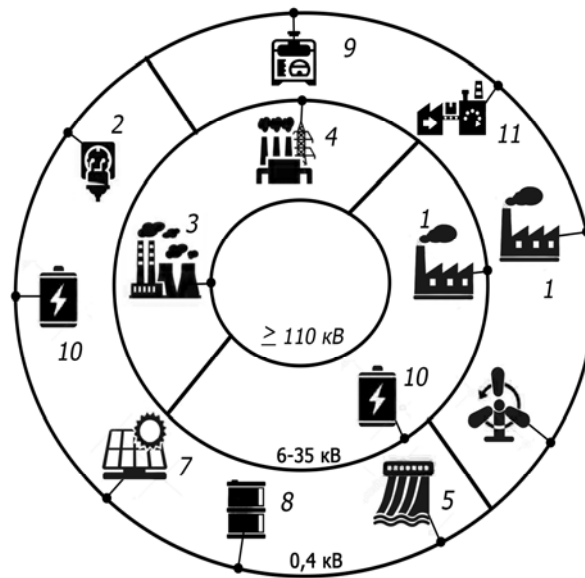


Рис. 1. Электроэнергетическая система:

- 1 – промышленные потребители; 2 – социально-бытовые потребители;
 3 – традиционные крупные электростанции; 4 – малые ГТУ-ТЭЦ;
 5 – мини- и микроГЭС; 6 – ВЭУ; 7 – солнечные электростанции;
 8 – топливные элементы; 9 – поршневые двигатель-генераторы;
 10 – накопители энергии; 11 – биогаз

Основные плюсы и возможности распределенной энергетики:

- Низкое загрязнение окружающей среды и высокая эффективность.
- Снижение потерь электроэнергии при транспортировке из-за максимального приближения электрогенераторов к потребителям электричества.
- Уменьшение числа и протяженности линий электропередач, которые необходимо построить.

Плюсы распределенной энергетически очевидны, но большее внимание нужно уделять проблемам, с которыми предстоит столкнуться:

- Высокая стоимость энергокомплексов.

• Регулярно возникающие дисбалансы между производством и потреблением энергии или между потребностью в ее видах, например:

а) энергия, вырабатываемая солнечными батареями и ветрогенераторами, изменяется в зависимости от погодных условий, а потребление электроэнергии от погоды может не зависеть или изменяться в противоположную сторону;

б) в зимнее время потребление тепловой энергии остается постоянно высоким, а выработка электроэнергии изменяется по времени суток.

Решением проблемы является наличие подключения к общей электрической сети, так как это позволяет компенсировать недостачу электроэнергии за счет ее потребления от общей сети, а в случае избыточного производства электроэнергии собственным источником – выдавать ее в сеть, с получением соответствующего дохода.

• Требуется согласование экономических интересов участников процесса энергообеспечения.

• Интеграция альтернативных источников в энергосистему вносит дополнительные риски в возможность поддержания ее стабильной работы.

• Все особенности распределенной генерации требуют тщательного изучения свойств и характеристик различных установок, разработки их математических моделей работы в различных режимах. Требуется разработка новых методов анализа режимов работы систем электроснабжения, включающих распределенную генерацию, их надежности, устойчивости и т. д. Необходима также разработка математических моделей и методов планирования развития систем электроснабжения с учетом распределенной генерации.

• Распределенная генерация усложняет также систему релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем. Распределительная сеть с появлением в ней установок распределенной генерации приобретает черты основной сети, т.е. в ней возникают проблемы устойчивости и др., что требует разработки устройств автоматики, аналогичных основной сети. При потере электроснабжения от питающей подстанции основной сети имеется возможность выделить установку распределенной генерации на близкую по мощности нагрузку, что обеспечит электроснабжение ответственных потребителей. Эта проблема в англоязычной литературе получила название «Islanding», она достаточно активно изучается и имеет ряд составляющих, в частности: определение состава потребителей, подключаемых к малому генератору при выделении; разработка принципов и конкретных устройств соответствующей автоматики; учет конкретных условий работы распределенных генераторов и др.

• Подключение источников распределенной генерации к распределительной сети увеличивает токи короткого замыкания, что может потребовать замены коммутационных аппаратов, изменения настроек защит и др.

Таким образом, на данный момент для Беларуси наиболее перспективными источниками распределенной генерации являются нетрадиционные источники (биогазовые, ветроэнергетические, солнечные установки), а также когенерационные установки, кроме того имеются возможности сооружения малых ГЭС, мини- и микроГЭС. Согласно Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь на период до 2020 г. предусматривается использование в нарастающих масштабах нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
МЕХАНИЗМА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЖИЛИЩНО-
КОММУНАЛЬНОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ****В. П. Ключинский***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель О. А. Полозова

Одним из принципов государственного управления в сфере энергосбережения является создание финансово-экономического механизма, в основе которого лежит использование материальных мотивов поведения и стимулирования. Он базируется на применении денежно-стоимостных отношений, обуславливающих экономическую заинтересованность субъектов хозяйствования в повышении эффективности использования ТЭР и внедрении энергосберегающих технологий.

Центральное место в экономическом механизме стимулирования принадлежит ценам на энергетические ресурсы и тарифам на энергию. Это обусловлено тем, что уровень тарифов на энергию в значительной мере определяет: доходность энергосистем; жизненный уровень населения; уровень энергозатрат предприятий – потребителей энергии и конкурентоспособность их продукции на рынке; осознание потребителями ТЭР значения энергосбережения.

Структура системы финансово-экономических механизмов, а также их содержание определяются природой, структурой социально-экономических отношений в стране и ее национальными особенностями и традициями [1]. Так, в Республике Беларусь в середине 90-х гг. прошлого столетия в условиях резкого сокращения промышленного производства и снижения платежеспособности населения в Беларуси было введено перекрестное субсидирование в оплате тепловой и электрической энергии. Его сущность состоит в том, что население получает большую льготу в оплате за энергию за счет целенаправленного увеличения тарифов для промышленных предприятий. Последним это наносит большой экономический ущерб, так как приводит к неоправданному увеличению себестоимости производимой ими продукции, снижению рентабельности и конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках. Кроме того, перекрестное субсидирование не побуждает население к экономии энергии и внедрению энергосберегающего оборудования и технологий в своих домах и квартирах. Подавляющее большинство европейских стран (см. таблицу) ушло от перекрестного субсидирования.

Проблема субсидирования тарифов для населения усугубляется тем, что его доля в расходной части энергетического баланса Республики Беларусь постоянно увеличивается как за счет роста процесса электрификации в быту, так и на фоне снижения доли энергопотребления в других секторах экономики в результате сложившейся экономической ситуации. Особенно негативными являются последствия от перекрестного субсидирования по тепловой энергии. Льготирование населения, удельный вес которого в общем объеме теплотребления составляет 60–65 %, приводит к необходимости существенного, даже в несколько раз, повышения тарифов на тепло для промышленности [2]. Это приводит к значительному повышению себестоимости продукции для теплоемких предприятий, что сказывается на ухудшении их экономических показателей работы. В итоге предприятия строят свои собственные источники тепла, отказываясь тем самым от получения тепла от энергосистемы. Это, в свою очередь, приводит к ухудшению экономических показателей работы энергосистемы как основного производителя электрической и тепловой энергии.

Тарифы на электроэнергию для потребителей с учетом налогов, цент/кВт · ч

Страна	Германия	Италия	Польша	Литва	Казахстан	Россия	Беларусь
Промышленные потребители без учета НДС	14,94	18,23	8,8	16,67	8,4	7,3	12,2
Население	40,9	33,5	19,5	18,2	11,6	4,48	6,5

Республика Беларусь движется в сторону отказа от перекрестного субсидирования. Данная тенденция, как видно из рис. 1, наметилась с 2012 г. Однако полностью избавиться от этой проблемы пока не удалось.

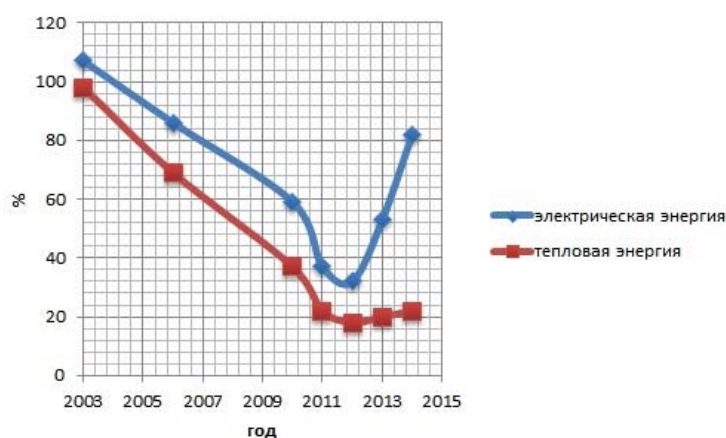


Рис. 1. Уровень возмещения затрат

В настоящее время субсидируемые государством тарифы для населения составляют: электрическая энергия 0,1192 р. за кВт · ч, тепловая энергия 15,6722 р. за Гкал. Тарифы, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат, соответственно составляют 0,19 р. за кВт · ч и 91,18 р. за Гкал.

Уйти от перекрестного субсидирования в сложившихся условиях довольно сложно, но жизненно важно для экономики страны. Как было отмечено в [3], значительная роль в решении проблемы перекрестного субсидирования принадлежит энергосберегающим технологиям в жилищном строительстве. Однако реализация данного направления затруднена по причине отсутствия системы финансово-экономического стимулирования населения в использовании энергосберегающего оборудования.

В большинстве стран мира применяются различные меры по стимулированию населения к экономии энергии и использованию в своих домах энергосберегающего оборудования. Так, например, в США и Великобритании предусмотрена возможность получения владельцами домов (или арендаторами жилья) беспроцентных займов для перестройки зданий и покупки оборудования в целях экономии энергии по рекомендациям, подготовленным квалифицированными специалистами государственных агентств или компаний по распределению электроэнергии и газа. В новых индустриальных странах Юго-Восточной Азии (Корея, Сингапур, Гонконг, Тайвань) значительная часть энергосберегающих мероприятий финансируется самим государ-

ством, которое чаще всего само устанавливает энергетическое оборудование, соответствующее непромышленной сфере, выделяет владельцам жилых домов целевые беспроцентные ссуды или субсидии на перестройку зданий и приобретение материалов в соответствии с существующими стандартами и рекомендациями специалистов.

Нами предлагается вариант стимулирования внедрения энергосберегающих технологий для населения Республики Беларусь, который учитывает международный опыт и специфику сложившейся тарифной политики в нашей стране. Данное предложение должно помочь государству уйти от перекрестного субсидирования. Схематично данный вариант представлен на рис. 2.



Рис. 2. Схема ухода от перекрестного субсидирования

Таким образом, данная схема, а также анализ, проведенный в [4], позволяют сделать следующие выводы: при небольшой финансовой помощи государства, равной налогу на прибыль, дополнительно полученной промышленными предприятиями от снижения тарифов на энергию, затраты населения будут даже ниже, чем платежи за энергию при действующих тарифах.

Л и т е р а т у р а

1. Поспелова, Т. Г. Основы энергосбережения / Т. Г. Поспелова. — Минск : Технопринт, 2000. — 353 с.
2. Гулбрандсен, Т. Энергоэффективность и энергетический менеджмент / Т. Гулбрандсен, Л. Падалко, В. Червинский. — М. : БГАТУ, 2010. — 238 с.
3. Полозова, О. А. Эффективность применения нетрадиционных источников энергии в жилищном строительстве АПК / О. А. Полозова, Т. В. Алферова, В. П. Ключинский // Энергосбережение в сельскохозяйственном производстве. — Ярославль : ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2016. — С. 64–69.
4. Ключинский, В. П. Социально-экономические аспекты применения энергосберегающих технологий в жилищно-коммунальном секторе Республики Беларусь / В. П. Ключинский, О. А. Полозова, Т. В. Алферова // Агротехника и энергообеспечение. — Орел : ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», 2016. — С. 38–46.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л. А. Добродей

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Н. В. Ермалинская

Введение. Сложившаяся рыночная система отношений предполагает конкурентную борьбу между производителями, наиболее сильные позиции в которой смогут занять те субъекты, которые эффективнее других используют все виды имеющихся ресурсов, в том числе внеоборотные активы. Основные средства – важнейший элемент средств производства, состояние и эффективное использование которого непосредственно определяет конечные результаты производственно-хозяйственной деятельности предприятия [4].

Целью управления основными средствами предприятия является разработка и реализация решений, направленных на создание условия для результативного ведения производственно-хозяйственной деятельности и развития предприятия с учетом поставленных целей путем формирования оптимального состава и структуры основных средств, эффективной их эксплуатации, своевременного и рационального воспроизводства.

Оценка эффективности управления основными средствами призвана определить, в какой степени функционирование системы управления предприятием и непосредственно деятельность управленческого персонала обеспечивают реализацию поставленных целей и задач, достижение запланированных параметров развития предприятия [3].

В связи с этим научный интерес представляет необходимость систематизации организационных и методических аспектов управления основными средствами промышленного предприятия и оценки его эффективности.

Основная часть. Установлено, что в условиях динамичной конкурентной среды крайне важно обеспечить менеджеров предприятия систематизированными методическими и информационными материалами, позволяющими разрабатывать научно обоснованные решения по повышению эффективности управления основными средствами [2].

Любая производственная задача имеет сложный характер, так как ее решение требует вовлечения большого количества субъектов и объектов хозяйствования, а также установления связей между ними. Это резко затрудняет нахождение верных и результативных для производства путей решения. Для этого из техники в экономику было заимствовано понятие «механизм», которое в широком смысле представляет собой внутреннее устройство какого-либо аппарата, приводящее его в действие. Как экономическая категория механизм может быть определен «как специфическая совокупность элементов, состояний и процессов, расположенных в данной последовательности, находящихся в определенных связях, отношениях и определяющих порядок какого-либо вида деятельности». В Большом экономическом словаре под редакцией А. Н. Азрилияна приведено несколько иное определение механизма: «механизм – последовательность состояний, процессов, определяющих собой какое-нибудь действие, явление» [1].

По результатам проведенных исследований предложен один из вариантов структурной декомпозиции и набора связей между элементами механизма повыше-

ния эффективности управления основными средствами промышленного предприятия. Изначально было определено, что данный механизм должен описывать процесс управления основными средствами промышленного предприятия, в который вовлечены субъекты управления (собственники и руководство предприятия) и объекты управления (основные средства предприятия как базовые ресурсы осуществления его производственно-хозяйственной деятельности). Данный процесс представлен на рис. 1.



Рис. 1. Процесс управления основными средствами промышленного предприятия

На основе описанного на рис. 1 процесса управления основными средствами предприятия предложена следующая модель механизма повышения эффективности управления основными средствами промышленного предприятия (рис. 2).

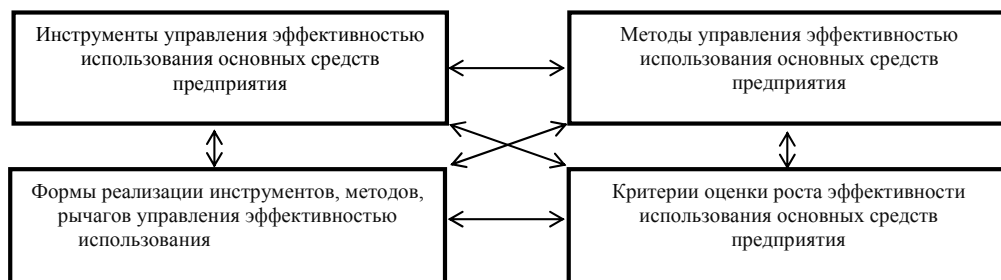


Рис. 2. Модель механизма повышения эффективности управления основными средствами предприятия

Для обеспечения работоспособности данного механизма в сложившихся для предприятия условиях функционирования при детализации его содержания должны быть учтены компоненты, в первую очередь обуславливающие формирование требуемого уровня эффективности управления производственными ресурсами предприятия (в т. ч. основными средствами): обеспечение заинтересованности руководства предприятия; материально-техническое и информационное обеспечение процессов эффек-

тивного использования основных средств предприятия; обучение персонала; стимулирование персонала; организационно-правовое обеспечение деятельности предприятия.

Последовательность этапов адаптации теоретической модели предложенного механизма к конкретным условиям функционирования предприятия для обеспечения возможности его интеграции в реальные процессы управления выглядит следующим образом: 1) анализ предприятия, его производственного потенциала, сложившихся информационно-материальных потоков и используемых способов, методов и инструментов управления; 2) конкретизация состава и структуры механизма на базе предложенной модели; 3) уточнение доступных инструментов, методов управления основными средствами на предприятии и способов их наиболее результативного применения; 4) внедрение механизма, определение результатов его применения, корректировка на основе выявленных слабых мест.

Как показали исследования, для оценки эффективности управления основными средствами предприятия могут использоваться получившие широкое распространение общие и частные показатели использования основных средств (фондоотдача, амортизация, рентабельность средств, фондовооруженность, коэффициенты годности и движения основных средств, коэффициенты использования оборудования и др.). Однако для определения результативности самого управления основными средствами целесообразно рассматривать упомянутые показатели в динамике, а также выработать систему параметров, отражающих степень эффективности взаимодействия субъектов и объектов управления основными средствами.

В результате проведенного анализа эффективности управления основными средствами промышленного предприятия ОАО «Электроаппаратура» на основе использования описанного в статье подхода выявлен ряд тенденций, а именно:

во-первых, снижение производительности труда по причине высокого уровня физического износа машин и оборудования, а также низкой квалификации персонала. В такой ситуации целесообразно не только активизировать меры по обновлению активной части основных производственных средств предприятия, но и проводить более продуманную, с учетом специализации предприятия, кадровую политику и работу с персоналом;

во-вторых, наблюдается опережение темпов роста стоимости основных средств предприятия над темпами роста выручки. Это свидетельствует, с одной стороны, о большой доле устаревшего оборудования в составе основных производственных средств и активном разворачивании программы по обновлению основных средств; с другой – об определенных трудностях со сбытом продукции и падении покупательской активности по отношению к продукции предприятия.

Заключение. Таким образом, эффективное управление основными средствами промышленного предприятия предполагает: необходимость системного обоснования организационных аспектов взаимодействия субъектов и объектов управления с учетом специфики функционирования каждого конкретного предприятия; а также выработку мер по повышению эффективности управления основными средствами во взаимосвязи с другими направлениями функционирования предприятия: кадровыми, финансовыми, сбытовыми.

Литература

1. Большой экономический словарь / под ред. А. Н. Азриляна. – 4-е изд., доп. и перераб. – М. : Ин-т новой экономики, 1999. – 476 с.

2. Гончаров, В. И. Технология и инструменты эффективного управления предприятием / В. И. Гончаров. – Минск : МИУ, 2000. – 160 с.
3. Кальницкая, И. В. Подходы к оценке эффективности управления организацией / И. В. Кальницкая // Актуальные вопросы экономических наук : материалы XII Междунар. науч.-прак. конф. – Новосибирск : СИБПРИНТ, 2010. – С. 163–167.
4. Экономика предприятия : учеб. пособие / Э. В. Крум [и др.] ; под общ. ред. Э. В. Крум, Т. В. Елецких. – 2-е изд., дораб. и испр. – Минск : Выш. шк., 2010. – 304 с.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РОСТА

Е. А. Агарков

ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова», Российская Федерация

Научный руководитель М. Е. Проняева

Ситуация, которая сложилась в настоящее время в мире, породила значительные проблемы в области обеспечения устойчивого экономического роста и повышения уровня жизни населения. На сегодняшний день накопилось значительное количество социальных и экологических проблем, без решения которых вряд ли возможно нормальное существование человеческого общества в будущем. Рост экономики на современном этапе обеспечивается как внедрением в производство достижений научно-технического прогресса, так и увеличением использования ресурсов и техногенной нагрузки на окружающую среду. Традиционная производственная система, ориентированная на текущие экономические интересы, по мере своего роста ставит под угрозу перспективы развития. Подтверждением этому могут считаться регулярно повторяющиеся кризисные явления, источником которых являются экологические нарушения, ограниченность возможностей природы удовлетворять потребности человека.

Очевидно, что на практике переход к устойчивому развитию требует формирования новой системы оценок человеческой деятельности, которая будет охватывать не только экономические, но и социально-экологические результаты, а также учитывать ее долгосрочные последствия.

Современные подходы к управлению должны учитывать, что эффективное экологически ориентированное развитие производства предполагает приближение ресурсных циклов в экономике к замкнутым круговоротам вещества и энергии в природе, что возможно только при интеграции ранее рассматриваемых по отдельности экономических и экологических (природных) систем в эколого-экономические системы. В данной системе экономическая и экологическая подсистемы выступают как части единого целого. В целом эколого-экономическая система представляет собой контур, образованный двумя иерархичными подструктурами. С одной стороны, экономическая подсистема воздействует на экологическую, с другой – экологическая подсистема оказывает влияние на экономическую. При этом воздействие на природную среду более важно с точки зрения последствий как для природы, так и для человеческого общества, и в этом смысле можно говорить об иерархии эколого-экономических систем в целом: экономическая подсистема как управляющая и экологическая подсистема как управляемая.

Основным отличительным свойством экономических систем от экосистем, которые считаются замкнутыми и уравновешенными, является их открытость: в них поступают природные материалы, которые проходят стадию обработки, в виде конечного продукта выходят из системы и поступают в потребление. На всех стадиях

обработки, а также в процессе потребления конечной продукции из системы выбрасываются отходы. Исходя из условия, что в природе для поддержания равновесия внешнее управление не нужно, важнейшей задачей управления развитием эколого-экономических систем является преобразование их в сбалансированные, по возможности наиболее замкнутые системы на основе максимально эффективного использования природных ресурсов и минимизации отходов.

Важнейшими целями при формировании механизма управления эколого-экономической системой становятся минимизация разницы между объемами потребления и воспроизводства природных ресурсов, минимизация природоемкости производства при максимизации его экономической эффективности.

Общий вход экономической системы – сумма материальных ресурсов R складывается из импортируемых в данную систему ресурсов I_r (к ним отнесены и невозобновимые местные ресурсы) и из возобновимых местных ресурсов R_n (рис. 1). К последним относится часть биопродукции экологической подсистемы, включая продукцию агроценозов и самого человека как ресурса и как субъекта производства и потребления:

$$R = I_r + R_n. \quad (1)$$

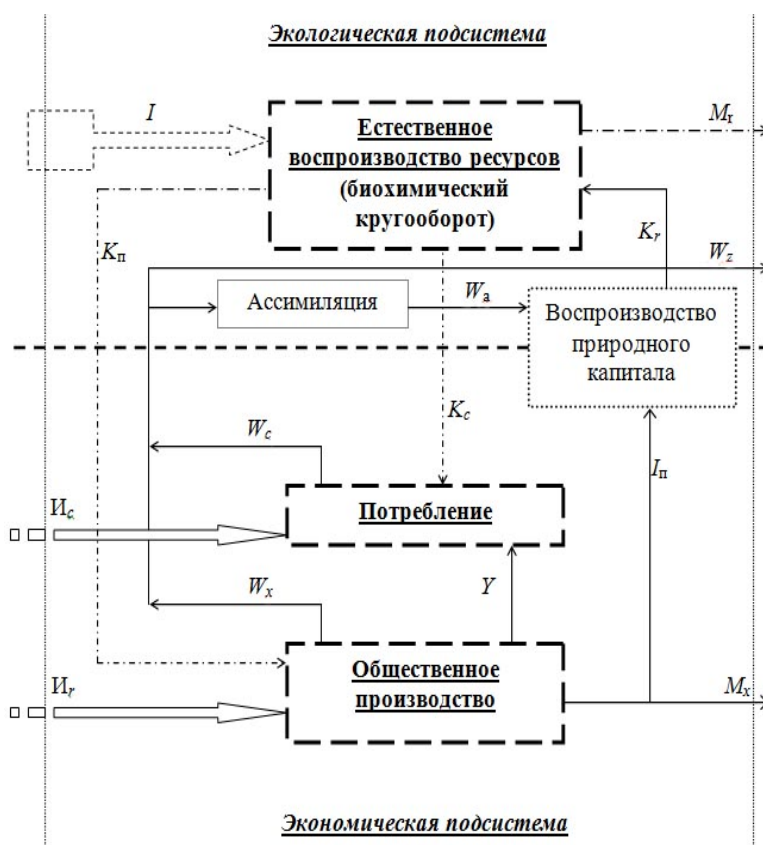


Рис. 1

Функции и структура экономической системы

Экономическая система – есть совокупность взаимосвязанных и определенным образом упорядоченных элементов экономики. Из сущности экономической системы вытекают ее основные функции:

• *Воспроизводственная.* Экономическая система воспроизводит жизненные блага для людей. Экономическая система воспроизводит не только блага для людей, физическое их существование, но и определенный вид жизнедеятельности людей, их определенный образ жизни.

• *Регулирующая.* Экономическая система регулирует поток движения ресурсов от природы к обществу.

На основе имеющихся ресурсов и возникающих общественных потребностей экономическая система определяет количественные и качественные характеристики создаваемых благ. Происходит регулируемый кругооборот ресурсов, благ и доходов между природой и обществом, а внутри общества – между его субъектами.

Структурные элементы экономической системы

Объекты. В качестве объектов экономической системы выступают:

• Процесс производства как взаимодействие его факторов (ресурсов) – природных, материальных и трудовых.

• Процесс реализации. Включает распределение и обмен произведенного продукта.

• Процесс потребления. Складывается из производственного потребления, когда в результате процесса производства расходуются (изнашиваются) его факторы, и непроизводственного (личного) потребления.

Субъекты. Их предназначение – обеспечивать постоянное функционирование объектов системы.

• Сектор «домашнее хозяйство». Как статистическая единица домашнее хозяйство состоит из лиц, которые проживают совместно и ведут общее хозяйство.

• Предпринимательский сектор. Его образует совокупность всех фирм, предприятий, организаций, производящих и реализующих товары.

• Государственный сектор. Представляет собой совокупность государственных предприятий, институтов и учреждений, занимающихся производством общественных благ.

• Заграница. Это все экономические субъекты, находящиеся за границей, иностранные государственные институты.

Литература

1. Модель управления системами для обеспечения устойчивого роста. – Режим доступа: borona.net.
2. Функции и структура экономической системы. – Режим доступа: www.economy-web.org/?p=572.

ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. И. Козлова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. Г. Фильчук

Трудовые ресурсы играют ведущую роль в процессе хозяйственной деятельности организации любой отраслевой принадлежности. В широком смысле к трудовым ресурсам относится та часть населения, которая обладает необходимыми физическими данными, знаниями и трудовыми навыками. Трудовые ресурсы предприятия включают всех работников предприятия, выполняющих различные производственно-

хозяйственные, управленческие и иные функции. Достаточная обеспеченность предприятий нужными трудовыми ресурсами, их рациональное использование, высокий уровень производительности труда имеют большое значение для увеличения объемов продукции и повышения эффективности производства.

Результаты экономической деятельности предприятия чаще всего выражаются объемами продукции и прибыли. Рост объема производства продукции напрямую связан с повышением эффективности использования ресурсов, в том числе и трудовых. Основными показателями эффективности являются продуктивность (производительность) и рентабельность использования ресурсов [1].

Производительность труда это категория, характеризующая эффективность и результативность труда. Повышение производительности труда является важнейшей проблемой, от решения которой зависят темпы расширенного воспроизводства в сельском хозяйстве и полное удовлетворение потребностей страны в его продукции (продуктах питания).

Для оценки производительности труда используют следующие показатели:

- выработку (ряд авторов идентифицируют данный показатель с производительностью труда (рассчитывается на единицу рабочего времени или на одного работающего);
- трудоемкость продукции (отражает затраты труда на единицу продукции);
- отношение добавленной стоимости к затратам на персонал (затратам труда);
- рентабельность труда (отношение прибыли к затратам на персонал).

В табл. 1 представлены исходные данные для расчета и рассчитанные показатели эффективности использования трудовых ресурсов в сельском хозяйстве страны за последние шесть лет. Источником информации послужили данные комитета статистики и анализа Республики Беларусь.

Таблица 1

**Показатели оценки эффективности использования трудовых ресурсов
в сельском хозяйстве Республики Беларусь за 2010–2015 гг.**

Показатели	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Продукция сельского хозяйства, млрд р.						
в действующих ценах	36131	55642	96696	105770	131204	136760
в сопоставимых ценах	36131	30012	27278	26428	27161	26287
Добавленная стоимость сельского хозяйства, млрд р.	14307	23063	42528	42372	54475	–
Численность работников организаций, тыс. чел.	369	359	350	334	321	314
Отработано всего, тыс. чел./дн.	97601	94716	92172	87587	83709	81247
Затраты на оплату труда, млрд р.	3784	5810	11769	15956	18552	14419
Чистая прибыль (убыток), млрд р.	1391	4474	9528	3845	5416	–63
Выработка в расчете на 1 работника, млн р.:						
в действующих ценах	97,9	155,2	276,4	316,4	409,2	435,1
в сопоставимых ценах	97,9	83,7	78,0	79,1	84,7	83,6

Окончание табл. 1

Показатели	2010	2011	2012	2013	2014	2015
8. Выработка в расчете на 1 чел./день, млн р.:						
в действующих ценах	0,370	0,587	1,049	1,208	1,567	1,683
в сопоставимых ценах	0,370	0,317	0,296	0,302	0,324	0,324
9. Трудоемкость продукции, чел./дн.	2,70	3,16	3,38	3,31	3,08	3,09
10. Производительность по добавленной стоимости, млн р.	0,147	0,244	0,461	0,484	0,651	–
11. Рентабельность персонала, %	36,77	77,01	80,96	24,09	29,19	–0,44

Примечание. Таблица составлена автором на основе источников [3], [4], [6].

Исходя из данных табл. 1, можно сделать вывод, что значение показателей выработки, рассчитанных на базе продукции сельского хозяйства в действующих ценах, имеют положительную динамику на протяжении 2010–2015 гг. В то же время показатели выработки, рассчитанные на основе продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах, не имеют устойчивой динамики: на протяжении 2010–2013 гг. они снижаются, в 2014 г. наблюдается рост выработки, как в расчете на одного работника, так и в расчете на один чел./день, в 2015 г. значение данных показателей опять снижается. Значение рентабельности персонала росло на протяжении трех лет, затем в 2013 г. снизилось, в следующем году опять возросло, а в 2015 г. значение показателя стало отрицательным (–0,44 %) в связи с появлением убытка в качестве финансового результата сельскохозяйственного производства в данном году. Все это свидетельствует о достаточно низком уровне эффективности использования трудовых ресурсов в сельском хозяйстве Республики Беларусь.

Труд работников в сельском хозяйстве, в силу его специфического содержания и тесной связи с природными условиями и сложной зависимости от окружающей природной среды, требует большого напряжения физических, моральных и духовных сил людей, занятых сельскохозяйственным трудом [2]. Поэтому для повышения эффективности использования трудовых ресурсов необходим постоянный учет факторов, на нее влияющих. Основными факторами роста производительности труда в сельском хозяйстве являются природно-климатические, технико-технологические, организационные и социально-экономические. Степень влияния факторов на производительность труда в сельском хозяйстве не одинакова, при этом какие-то факторы влияют на объем производства, другие на размер затрат труда, а третьи оказывают влияние одновременно и на экономию затрат труда и на рост производства продукции.

Подробнее рассмотрим социально-экономические факторы роста производительности труда в сельском хозяйстве Республики Беларусь. Данная группа факторов относится к качеству работников, их мотивированности и удовлетворенности трудом. Характеризуя состав трудовых ресурсов в сельском хозяйстве республики, можно отметить, что средний возраст занятых в сельском хозяйстве выше, чем в среднем по экономике, что связано с оттоком молодежи из сельской местности (табл. 2).

Таблица 2

Структура работников по возрастным группам от 01.01.2015, % [5]

	Всего работников	в том числе в возрасте, лет					
		до 25	25–29	30–39	40–49	50–54	55 и старше
В целом по экономике	100	8,7	12,8	24,5	23,2	13,8	17,0
В сельском хозяйстве	100	7,4	9,5	22,6	27,9	16,7	15,9

Уровень квалификации занятых в сельскохозяйственном производстве намного ниже, чем в среднем по экономике (табл. 3). При этом среди руководителей высшее образование имеет только треть, когда в среднем по республике 63,2 % руководителей имеет высшее образование.

Таблица 3

Структура всех работников и руководителей по уровню образования на 01.01.2015, % [5]

	Всего работников	В том числе имеют образование				
		высшее	среднее специальное	профессионально-техническое	общее среднее	общее базовое
Все работники						
В целом по экономике	100	29,4	22,5	20,4	25,4	2,3
В сельском хозяйстве	100	10,3	17,6	24,0	39,7	8,4
Руководители						
В целом по экономике	100	63,2	30,2	2,6	4,0	–
В сельском хозяйстве	100	35,5	43,0	9,9	11,6	–

Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата работников в сельском хозяйстве в 2015 г. составила 72,2 % к среднереспубликанскому уровню, в 2014 г. соотношение было 74,5 % [3]. Достаточно низкий уровень оплаты труда, а также особенности трудового процесса в сельском хозяйстве влекут за собой невысокий уровень мотивированности работников, что делает сельское хозяйство непривлекательной отраслью для занятости. Об этом свидетельствует высокое значение коэффициента выбытия кадров – 11,0 в 2015 г. (1,7 в среднем по республике) [5]. Таким образом, можно сделать вывод об отрицательном влиянии социально-экономических факторов на уровень эффективности использования трудовых ресурсов в сельском хозяйстве Республики Беларусь в настоящее время.

Увеличение темпов роста производительности труда в сельском хозяйстве в современных условиях является объективной необходимостью и имеет важное народнохозяйственное значение в решении многих экономических и социальных проблем нашей страны. При этом требуется обязательный учет всех факторов, влияющих как на рост, так и снижение производительности труда.

Литература

1. Генкин, Б. М. Экономика и социология труда : учеб. для вузов / Б. М. Генкин. – 7-е изд., доп. – М. : Норма, 2007. – 448 с.
2. Производительность труда и пути ее повышения. – Режим доступа: <http://mirznanii.com/a/251797/undefined>. – Дата доступа: 30.03.2017.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 230 с.
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь : стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 519 с.
5. Труд и занятость в Республике Беларусь : стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 292 с.
6. Финансы Республики Беларусь : стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – 267 с.

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

К. Клейнауските

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. Г. Фильчук

Вопрос эффективного инвестирования всегда актуален. О состоянии дел в экономике можно судить по характеру процессов, происходящих в инвестиционной сфере. Она является индикатором, указывающим на общее положение внутри страны, размер национального дохода, привлекательность для других государств.

По мнению специалистов, агропромышленный комплекс, и, в частности, сельскохозяйственное производство заслуживают внимания в части наличия инвестиционных возможностей. Инвестирование в АПК можно определить как процесс простого или расширенного воспроизводства средств производства, а также осуществление инвестиций в экономические объекты и процессы, виды экономической деятельности в агропромышленном комплексе, непосредственно связанные (и касающиеся образа жизни людей) с потреблением населением материальных и духовных благ, услуг, удовлетворением конечных запросов человека, семьи, коллектива, групп, общества в целом [1].

Инвестиции в сельское хозяйство позволяют улучшить экономическую ситуацию в стране за счет увеличения продовольственных запасов, укрепления продовольственной безопасности, создания новых рабочих мест и др. Также значимость инвестирования в сельскохозяйственное производство обусловлена необходимостью поддержания уровня производства сельскохозяйственной продукции на должном уровне, что требует оптимального состояния материально-технической базы сельского хозяйства.

Состояние и наличие основных средств в сельском хозяйстве Республики Беларусь представлены в табл. 1 и 2 [2].

Из данных табл. 1 видно, что к 2015 г. относительно 2010 доля активной части основных средств в сельском хозяйстве сократилась на 3 п.п. Это означает, что в сельском хозяйстве не хватает денежных средств на покупку нового оборудования и техники. Степень износа за период 2010–2015 гг. сократилась на 3,3 п.п., что является положительной тенденцией, однако основные средства в сельском хозяйстве изношены выше по сравнению с основными средствами других отраслей экономики.

Таблица 1

Доля активной части и степень износа основных средств в 2010–2015 гг., %

Наименование показателя	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Доля активной части основных средств в целом по экономике	34,2	35,4	33,9	33,2	34,1	35,6
Доля активной части основных средств в сельском хозяйстве	28,3	26,2	25,7	25,0	25,2	25,3
Степень износа основных средств в целом по экономике	42,1	39,3	38,8	38,6	37,5	36,7
Степень износа основных средств в сельском хозяйстве	41,8	40,5	39,4	38,7	38,8	38,5

Таблица 2

Наличие основных видов сельскохозяйственной техники в 2011–2016 гг., тыс. шт.

Наименование показателя	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Тракторы	47,3	45,4	44,6	43,8	42,0	43,6
Грузовые автомобили	25,1	23,5	22,7	22,2	20,9	20,8
Комбайны	1790,6	1570,2	1390	1253,8	1106,81	980
Плуги тракторные	13,1	12,6	11,9	11,2	10,4	9,7
Сеялки тракторные	9,0	8,3	7,8	7,3	6,7	6,2
Культиваторы тракторные	9,3	8,8	8,4	7,8	7,2	6,8
Косилки	8,8	8,3	8,2	8,4	7,9	7,5
Пресс-подборщики	7,0	7,1	7,3	7,4	7,1	6,7
Жатки	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
Комбинированные почвообрабатывающие посевные агрегаты	4,1	4,4	4,6	4,6	4,5	4,3
Комбинированные почвообрабатывающие агрегаты	4,2	4,1	3,9	3,8	3,5	3,4
Доильные установки и агрегаты	13,4	13,2	13,5	13,3	12,9	12,5

Из данных табл. 2 видно, что количество тракторов с 2011 по 2015 г. имеет негативную тенденцию снижения с 473 тыс. шт. до 42 тыс. шт., однако в 2016 г. данный показатель растет до 43,6 тыс. шт., что говорит о приобретении новых тракторов для сельскохозяйственных организаций, что является положительной тенденцией. Количество грузовых автомобилей, комбайнов, тракторных плугов, сеялок, культиваторов, косилок, пресс-подборщиков, жаток, почвообрабатывающих агрегатов и доильных установок за период 2011–2015 гг. имеет неблагоприятную тенденцию к сокращению.

Анализ процесса инвестирования в сельскохозяйственное производство осуществим на основании данных табл. 3–5 [2], [3].

Таблица 3

Инвестиции в основной капитал в 2010–2015 гг.

Наименование показателя	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Всего, млрд р.	55380,8	98664,9	154442,4	209574,6	225269,7	210289,6
В сельское хозяйство, млрд р.	9157,9	11651,2	22863,1	27280,9	20472,9	21259,6
В сельское хозяйство, %	16,5	11,8	14,8	13,0	9,1	10,1

Из данных табл. 3 видно, что в течение с 2010–2015 гг. интенсивность процесса инвестирования снижается (на 6,4 п.п.).

Таблица 4

Ввод в эксплуатацию производственных мощностей в 2010–2015 гг.

Наименование показателя	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Помещения для содержания скота (включая комплексы), тыс. мест: крупного рогатого скота	113,3	92,1	160,6	125,6	84,7	68,1
свиней	43,1	75,1	63,0	31,9	82,9	206,5
Птицефабрики: яичного направления, тыс. кур-несушек	61,2	15,0	24,0	–	–	105,0
мясного направления, млн голов	0,3	7,27	10,67	4,94	3,5	–
Хранилища для картофеля, овощей и фруктов, тыс. т единовременного хранения	51,2	175,7	92,5	53,5	64,4	47,7
Теплицы, тыс. м ² : под стеклом	9,4	127,5	47,7	110,7	43,0	50,2
пленочные	4,2	3,9	113,3	7,9	22,7	2,8
Склады	4,5	13,7	2,0	6,0	29,0	1,4

Из данных табл. 4 видно, что ввод в эксплуатацию производственных мощностей всех видов снизился в 2015 г. по сравнению с 2010 г., что связано с недостатком инвестиционных ресурсов. Исключение составили помещения для свиней, птицефабрики яичного направления, теплицы под стеклом.

Таблица 5

Структура инвестиций в основной капитал, направленные на развитие сельского хозяйства, по источникам финансирования, %

Наименование показателя	2011	2012	2013	2014	2015
Инвестиции в основной капитал – <i>всего</i>	100	100	100	100	100
в том числе за счет:					
консолидированного бюджета	4,6	9,1	9,0	4,7	5,7
собственных средств организаций	40,9	46,1	49,1	65,3	70,3
заемных средств других организаций	0,2	0,8	1,2	1,6	0,7
иностраннх инвестиций	0,1	0,5	0,3	1,3	1,0

Окончание табл. 5

Наименование показателя	2011	2012	2013	2014	2015
кредитов банков	40,5	30,3	26,1	16,6	13,6
из них за счет кредитов по иностранным кредитным линиям	1,8	1,7	1,7	0,9	2,6
прочих источников	13,7	13,3	14,2	10,5	8,7

Анализ структуры источников инвестиций показал, что лидирующую позицию среди источников инвестиций в основной капитал занимает инвестирование за счет собственных средств организации, которое за период 2011–2015 гг. выросло с 40,9 до 70,3 %. В Республике Беларусь большинство инвестиций осуществляется за счет кредитов в банках, однако в сельском хозяйстве имеет место тенденция к отказу от таких кредитов. На протяжении долгого времени самая низкая доля инвестиций в основной капитал приходилась на иностранные инвестиции, что говорит о нежелании зарубежных партнеров инвестировать свои накопления в сельскохозяйственные организации Республики Беларусь.

Кроме того, необходимо отметить, что некоторые проблемы инвестирования в сельскохозяйственное производство связаны с наличием объективных причин: большие риски, обусловленные значительной зависимостью результатов сельскохозяйственного производства от природно-климатических условий; долгий период ожидания прибыли, связанный с длительным периодом производственного процесса в сельском хозяйстве.

В целом необходимо отметить, что решение рассмотренных проблем связано с совершенствованием инвестиционной политики. Это создаст предпосылки для стабилизации производственного потенциала сельского хозяйства и развития АПК республики.

Л и т е р а т у р а

1. Инвестиции в сельскохозяйственное производство, качество и конкурентоспособность продукции сельскохозяйственных предприятий. – Режим доступа: <http://selo-delo.ru/ekonomika-skx>. – Дата доступа: 31.03.2017.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 230 с.
3. Финансы Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – 267 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

А. Я. Королева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. Е. Астраханцев

Современный этап развития машиностроения характеризуется повышением экологических и научно-технических требований к производству с применением средств автоматизации производственных процессов для:

- обеспечения выпуска продукции высокого качества;
- создания наилучших (благоприятных) условий труда для всех участников производства;

- сокращения сроков выпуска продукции;
- снижения себестоимости продукции.

Достижение целей по совершенствованию машиностроительного производства на отечественных предприятиях возможно за счет внедрения современного подхода к построению производственных систем – концепции Lean Production (Бережливого производства).

Бережливое производство (от англ. lean production, lean manufacturing – «стройное производство») – концепция управления производственным предприятием, основанная на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь. Бережливое производство предполагает вовлечение в процесс оптимизации бизнеса каждого сотрудника и максимальную ориентацию на потребителя. Бережливое производство возникло как интерпретация идей производственной системы компании Toyota американскими исследователями ее феномена [1].

Отправная точка концепции – оценка ценности продукта для конечного потребителя на каждом этапе его создания. В качестве основной задачи предполагается создание процесса непрерывного устранения потерь, т. е. устранение любых действий, которые потребляют ресурсы, но не создают ценности (не являются важными) для конечного потребителя. В качестве синонима для понятия потерь иногда используется термин из производственной системы Toyota – muda (яп. 無駄 – муда), означающий всевозможные затраты, потери, отходы, мусор. Например, потребителю совершенно не нужно, чтобы готовый продукт или его детали лежали на складе. Тем не менее, при традиционной системе управления складские издержки, а также все расходы, связанные с переделкой, браком, и другие косвенные издержки перекладываются на потребителя.

В соответствии с концепцией бережливого производства вся деятельность предприятия делится на операции и процессы, добавляющие ценность для потребителя, и операции и процессы, не добавляющие ценности для потребителя. Задачей «бережливого производства» является планомерное сокращение процессов и операций, не добавляющих ценности. Кроме того, «Бережливое производство» требует философии управления, стратегического управления, культуры производства, когда каждый стремится к постоянному совершенствованию.

Джеймс Вумек и Дэниел Джонс в книге «Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании» излагают суть бережливого производства как процесс, который включает пять этапов:

1. Определить ценность конкретного продукта.
2. Определить поток создания ценности для этого продукта.
3. Обеспечить непрерывное течение потока создания ценности продукта.
4. Позволить потребителю вытягивать продукт.
5. Стремиться к постоянному совершенствованию производственной системы.

Важным принципом концепции Бережливого производства является требование по организации вытягивающего производственного процесса. «Вытягивающая» производственная система — это такая организация движения материальных потоков, при которой материальные ресурсы подаются («вытягиваются») на следующую технологическую операцию с предыдущей по мере необходимости, а поэтому жесткий график движения материальных потоков отсутствует.

Размещение заказов на пополнение запасов или изготовления материальных ресурсов (операционных заделов) происходит, когда их количество достигает определенного критического уровня. Эта система основана на «вытягивании» продукта

последующей операцией с предыдущей операции в тот момент времени, когда последующая операция готова к данной работе. То есть когда в ходе одной операции заканчивается обработка единицы продукции, посылается сигнал-требование на предыдущую операцию. И предыдущая операция отправляет обрабатываемую единицу дальше только тогда, когда получает на это запрос.

Другим важным принципом организации машиностроительного производства является автоматизация производственных процессов – локальная или всесторонняя комплексная автоматизация процессов от идеи создания до производства и поставки готовой продукции, анализа ее использования с целью постоянного улучшения качества и обновления.

При реализации на практике данных принципов организации производства может привести к возникновению проблемы – противоречия между вытягивающей производственной системой и комплексной автоматизацией производства.

В новых условиях хозяйствования прогрессивным является только такое производство, которое активно и динамично реагирует на возникающие задачи. Научно-технический прогноз развития промышленного производства показывает, что именно гибкие производственные системы (ГПС) наилучшим образом удовлетворяют требованиям заказчика, решают проблемы конкурентоспособности продукции на мировом рынке, обеспечивают высокую рентабельность производства и его эффективность. Эти системы позволяют избежать затоваривания ненужной продукцией и неэффективного расходования всех видов ресурсов. Этот тип производства может работать по прогрессивному принципу «делай вовремя», так как поставки заготовок, деталей, сборок и т. д. осуществляются строго и в определенное время.

Необходимость ускорения темпов обновления продукции обуславливает переход машиностроения от автоматизации отдельных элементов производственного процесса к комплексной автоматизации на всех уровнях, применению ГПС в условиях единичного, серийного и массового производств. Новая концепция открыла пути решения сложившегося противоречия между высокой производительностью и отсутствием мобильности производственного оборудования массового производства, высокой мобильностью и низкой производительностью универсальных станков единичного и серийного производств.

Базой для решения этой сложной и противоречивой задачи явились особые свойства гибких производственных систем: их способность к быстрой перестройке на выпуск новой продукции за счет гибкости и мобильности; наличие высокого технического уровня оборудования, способного реализовать прогрессивные технологические процессы на основе высокой степени интеграции производства; выпуск конкурентоспособной и высокоэкономичной продукции.

Одновременно гибкие производственные системы способствуют решению проблемы по улучшению труда работающих, создают предпосылки для постепенного стирания граней между умственным и физическим трудом, освобождают рабочих от тяжелого физического труда, стимулируют повышение профессионального уровня работающих, создают объективные условия для повышения производительности труда.

Л и т е р а т у р а

1. Бережливое производство. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
2. Медведев, В. А. Технологические основы гибких производственных систем : учеб. для машиностроит. специальностей вузов / В. А. Медведев, В. П. Вороненко, В. Н. Брюханов. – М., 2010. – 256 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. В. Шатунова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. Е. Астраханцев

В условиях мирового финансового кризиса большую актуальность приобретает внедрение концепции бережливого производства, потому как в настоящее время основная задача предприятий состоит не только в том, чтобы выстоять в столь сложных условиях, но и сохранить положительную динамику развития [1].

Бережливое производство – система простых решений, благодаря которым можно добиться повышения эффективности и снижения издержек [2].

Бережливое производство способно организовать производство так, что производительность труда в течение года в производстве, применившем ее, вырастает на 20–40 %, кроме этого улучшаются и другие показатели [1].

На наш взгляд, суть бережливого производства состоит не в сокращении расходов, что впоследствии могло привести к снижению качества продукции, а, наоборот, в сокращении потерь, которые есть на каждом рабочем месте.

В любой производственной системе, во всех процессах – от закупок материалов, производства продукта до продаж – существуют потери (рис. 1).



Рис. 1

Основные отличия традиционного подхода к организации производства и созданию производственной системы в концепции Бережливого производства представлены в таблице.

Отличия традиционного подхода и концепции Бережливого производства [3]

Характеристики	Традиционный подход	Бережливое производство
Цель	Выполнение показателей	Постоянное улучшение
Приоритеты	Ориентация на результат	Ориентация на незамедлительные процессы совершенствования и результат

Характеристики	Традиционный подход	Бережливое производство
Управление производством	Используется метод разделения и детализации операций при определении себестоимости каждого процесса	Операции выстроены в поток, скорость работы производства регулируется временем такта, точно соответствующим имеющемуся спросу
Планирование работы	Процесс поставки комплектующих и приоритеты производства в цехах определяются с помощью «выталкивающих» систем планирования	Комплектуемые с предшествующих операций «вытягиваются» системой при необходимости, приоритеты производства определяет последовательность вытягивания
Организация производства	Производство выстраивается крупными партиями для снижения числа переналадок, отсутствует гибкость	Сокращено время переналадки, что дает возможность работать малыми партиями и быстро перестраиваться на другое изделие
Выполнение заказа	Длительное выполнение заказа, ориентир на заказы крупных объемов	Быстрое выполнение заказа любого объема и номенклатуры
Культура менеджмента	Менеджмент занят решением текущих проблем, работой с показателями	Менеджмент предотвращает причины, которые вызывают трудности
Подход к решению проблем	При возникновении проблем ищут виноватых с целью наказать	При возникновении проблем все задаются вопросом «Как исправить ситуацию?»
Роль руководителя	Начальник	Наставник
Отношение к персоналу	Сотрудники – одна из статей затрат	Сотрудники влияют на эффективность результатов компании

Ранее считалось, что эффективная работа предприятия предполагает максимально возможную загрузку оборудования, т. е. длительное время работы оборудования после каждой переналадки. Для этого производство строилось таким образом, чтобы количество переналадок было минимальным, а партии запуска, соответственно, крупными [4].

Это вызывало накопление огромного количества товарно-материальных запасов на всех стадиях технологических процессов, что характерно для массового производства [4].

Ситуация изменилась, когда компания TOYOTA разработала иную концепцию организации производства и смогла доказать, что намного эффективней производить продукцию малыми партиями. Для этого необходимо проводить частые переналадки оборудования, поэтому для любого предприятия, стремящегося повысить свою рентабельность, снизить себестоимость продукции и вывести в оборотные фонды максимум денежных средств, становится жизненно необходимо уменьшать время переналадки оборудования. Для этой цели была разработана методика уменьшения времени переналадки оборудования под названием SMED [4].

Время переналадки обычно распределено между 4 функциями [4]:

- подготовка материалов, штампов, приспособлений – 30 %;
- закрепление и снятие штампов и инструментов – 5 %;
- центрирование и размещение инструмента – 15 %;
- пробная обработка и регулировка – 50 %.

Для снижения времени переналадки по каждой из этих функций используются следующие методы [4]:

1. Разделение внутренних и внешних операций наладки.
2. Преобразование внутренних действий во внешние.
3. Стандартизация функций, а не формы.
4. Применение функциональных зажимов или полное устранение крепежа.
5. Использование дополнительных приспособлений.
6. Применение параллельных операций.
7. Устранение регулировок.

Преимущества быстрой наладки оборудования [4]:

- быстрая переналадка дает возможность производить продукцию малыми партиями;
 - малые партии дают возможность выравнивать производство по номенклатуре и объему;
 - малое время переналадки влияет на сокращение времени выполнения заказа;
 - сглаженное производство дает возможность быстро реагировать на постоянно меняющиеся запросы потребителей.

По нашему мнению, использование бережливого производства дает значительный эффект, а основное преимущество концепции в том, что система на 80 % состоит из организационных мер и только 20 % составляют инвестиции [3].

Л и т е р а т у р а

1. Королева, Н. А. Повышение экономической эффективности предприятия России на основе внедрения концепции бережливого производства / Н. А. Королева // Science Time. – 2015. – Вып. № 6 (18).
2. Режим доступа: <http://www.gd.ru/articles/3578-berejlivoe-proizvodstvo>.
3. Режим доступа: <http://chelreglib.ru/media/files/exhib/berejlivoe-proizvodstvo.pdf>.
4. Режим доступа: http://www.up-pro.ru/library/production_management/lean/ispolzovanie-systemy-smed.html.

ПОТОК СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ В БЕРЕЖЛИВОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ю. В. Лесковец

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. Е. Астраханцев

Понятие «поток создания ценности» – это все действия (как добавляющие, так и не добавляющие ценность), нужные, чтобы провести весь продукт через следующие потоки операций: 1) производственный поток – от сырья до готовой продукции; 2) поток проекта – от концепции до выпуска первого изделия. Производственный поток начинается от запросов потребителя и идет назад, к сырью, – именно этот поток мы обычно рассматриваем, когда говорим о бережливом производстве [2].

Такой взгляд на поток создания ценности означает, что мы смотрим на картину в целом, а не только на отдельные процессы. Построение карты потока создания ценности – это инструмент, который помогает увидеть и понять материальные и информационные потоки в производственном процессе. Создавая карту, вы лучше поймете свой процесс и увидите свои потери [2].

Причины, по которым важно построить карту потока создания ценности:

- Карта помогает увидеть не просто потери. Построение карт позволяет видеть источники потерь в вашем потоке создания ценности.

- Карта делает многие решения, связанные с потоком, ясными, понятными и простыми для обсуждения. В противном случае многие решения и действия в ваших подразделениях могут продолжаться выполняться так, как и раньше.

- Карта увязывает принципы бережливого производства и методы, которые помогают понять все сразу и увидеть скрытые потери.

- Карта гораздо полезнее, чем многие количественные инструменты и схемы, которые подсчитывают шаги, не добавляющие ценности, время выполнения планового задания, расстояния перемещения, объемы запасов и т. д. Построение карты потока создания ценности – это качественный инструмент, с помощью которого вы детально описываете, как должны работать ваши парки (смены), чтобы появился поток. Цифры уместны при определении срочности, а также до или после проведения измерений. Построение карты потока создания ценности полезно для описания того, что вы фактически собираетесь делать, чтобы повлиять на эти цифры [3].

Когда речь идет о производственном потоке, то обычно на ум приходит поток, связанный с перемещением материалов внутри предприятия или транспортных средств в городе. Однако имеется и другой поток – информационный, который сообщает каждому процессу, что производить или что делать дальше. Материальный и информационный потоки – две стороны одной медали. Вы должны представить на карте оба этих потока [3].

Приведем пример. Когда фирма Pratt & Whitney, крупнейший в мире производитель авиационных двигателей, решила описать свои потоки создания ценности для трех типов двигателей, она обнаружила, что усилия поставщиков сырья по получению сверхчистых металлов дублировались, причем с очень большими затратами, другими фирмами, стоящими ниже по потоку (в частности, литейным производством, когда из металлических слитков получали заготовки для механической обработки). Причем перед тем, как титановый или никелевый слиток попадал в обработку, его масса превышала требуемую в десять раз. 90 % ценнейшего материала просто выбрасывалось из-за того, что первоначально слитки делались такими огромными. Литейщики не придавали особого значения тому, какую окончательную форму примет изделие. По их подсчетам, они действовали эффективно. Хотя эти типы двигателей не сильно отличались от двигателей других серий, а также от продукции конкурентов, литейщики, причем с немалыми затратами, начали выпускать несколько разных типов слитков, чтобы соответствовать точным техническим требованиям для каждого двигателя. Большинство подобных действий можно безболезненно и быстро ликвидировать, получив при этом колоссальную экономию [1].

Каким образом в такой серьезной отрасли, как авиастроение, подобные потери оставались незамеченными в течение десятилетий? Очень просто. Ни одна из четырех фирм, входящих в единый поток создания ценности авиадвигателя, который состоял из плавильного, литейного, обрабатывающего и сборочного производства, никогда не делилась с остальными особенностями своей деятельности. Частично это оправдывалось соображениями конфиденциальности, так как фирмы боялись, что подобная ин-

формация будет использована другими для вздувания цен. Зачастую же это просто забывалось. Вся четверка тщательно изучала свои собственные производства и никогда не предпринимала попытки посмотреть на поток создания ценности целиком. А ведь в таком потоке действия одной фирмы неизбежно сказывались на действиях другой. И вот они, наконец, это сделали и обнаружили огромные потери [1].

Визуализация потока создания ценности с помощью карты может использоваться в качестве инструментов коммуникации, планирования бизнеса и управления процессом изменений. На первоначальной стадии построение карты выполняется по шагам:

Первый шаг – описание текущего состояния – выполняется путем сбора информации в подразделении, а затем отображением на листе.

Второй шаг – поиск скрытых потерь, не создающих ценности.

Третий шаг – описание желаемого состояния потока с внесением изменений в расстановку рабочих мест, оборудования, использование рабочих операций, транспортировку и т. д.

Четвертый шаг – подготовка и активное использование плана внедрения изменений, где описывается, с помощью каких мероприятий, действий, решений и ресурсов вы планируете достичь будущего состояния [4].

Таким образом, бережливое производство должно идти дальше, выходить за пределы фирмы и смотреть на ситуацию в целом, на полный комплекс действий, в результате которых создается продукт: от концепции через рабочее проектирование к готовому изделию; от сырья, добытого далеко от предприятия, до товара, который держит в руках потребитель. Организационный механизм, который обеспечивает все это, мы называем бережливым предприятием. Он предполагает непрерывную дискуссию всех участников процесса по поводу того, как сформировать такой канал, по которому потечет поток создания ценности.

Построение и анализ карт потока создания ценности целесообразно, по нашему мнению, использовать для анализа и совершенствования производственных систем отечественных машиностроительных предприятий вообще, и для предприятий металлургии и металлообработки.

Л и т е р а т у р а

1. Вумек, Д. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Д. Вумек, Д. Джонс. – Режим доступа: <http://lib.rus.ec/b/510138/read>.
2. Режим доступа: http://studopedia.ru/11_194580_что-такое-karta-potoka-sozdaniya-tsennosti.html.
3. Режим доступа: <http://lektsia.com/3x9779.html>.
4. Режим доступа: <http://www.bitobe.ru/tpl/docs/pdf/bp%20method.pdf>.

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА МЕНЕДЖМЕНТ ОРГАНИЗАЦИИ

О. Ю. Малюх

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. А. Маляренко

Переход к рыночным отношениям в экономике Беларуси начался в конце прошлого века. В частности предусматривались: формирование основных рыночных институтов, демонополизация, изменение системы государственного регулирования экономики и приватизация.

16 июля 2010 г. был принят единый комплексный нормативный правовой акт по вопросам приватизации, вступивший в силу с 1 января 2011 г. Он предполагал создание дополнительных условий для привлечения инвестиций. Основными способами приватизации в соответствии с данным законом закреплялись открытые аукцион и конкурс. Также он предусматривал трехлетние планы приватизации.

Однако практика показала, что приватизация как инструмент привлечения инвестиций неэффективна. Объем прямых иностранных инвестиций (на чистой основе, без учета задолженности перед инвесторами) снижается в Беларуси уже три года подряд. В 2014-м по сравнению с 2013-м – на 15,2 %, в 2015-м – на 10,4 %, в 2016-м на 18,9 % до 1,3 млрд долл.

В 2014 г. правительство планировало продажу госпакетов в 83 ОАО республиканского уровня: акции 33 акционерных обществ планировалось продать по конкурсу и 50 ОАО – через аукцион. Удалось продать госпакеты лишь 13 акционерных обществ, одно предприятие было продано как имущественный комплекс. В 2015 и 2016 гг. в Беларуси не было заключено ни одной приватизационной сделки по продаже иностранному инвестору белорусского актива.

Причины медленной приватизации в Республике Беларусь:

1. Позиция руководства страны в отношении государственной собственности предполагает постепенность и взвешенность ее трансформации. Государство осторожно подходит к приватизации особенно крупных предприятий: лишь в 140 открытых акционерных обществах государство не имеет доли в собственности, что составляет 30 % от их числа, в остальных же 70 % ОАО доля государства составляет более 25 %.

2. Пример ускоренной массовой приватизации в России, имевшей негативные социально-экономические последствия.

3. Оценка имущества (балансовая цена объектов приватизации) зачастую значительно выше рыночной.

4. Трудные условия для собственника (сохранение профиля предприятия, избыточной численности работников, содержание социальной сферы).

5. Слабая профессиональная подготовка управленческих кадров для работы в новых условиях.

В предварительном плане приватизации на 2017 г. отражены 58 акционерных обществ, среди них: «Горизонт», «БАТЭ», «Витязь» и «Гомсельмаш». Однако прогноз по выполнению этого плана крайне неблагоприятный. Так, входящее в данный список ОАО «Гомсельмаш» по итогам 1 квартала 2016 г. находилось на втором месте в перечне убыточных акционерных обществ республики, что снижает привлекательность такого предприятия для инвесторов (рис. 1).

Решением данной проблемы может послужить изменение концепции перехода к рыночной экономике и смена фокуса с приватизации предприятий на реализацию их санации собственными силами белорусской экономики.

Санация предприятий, т. е. восстановление платежеспособности, может проводиться, в частности, с помощью доверительного управления предприятием.

В соответствии с Гражданским кодексом Республики Беларусь от 07.12.1998 № 218-3 под доверительным управлением понимается договор, по которому одна сторона (учредитель управления) передает другой стороне (доверительному управляющему) на определенный срок имущество в управление, а другая сторона обязуется осуществлять управление этим имуществом в интересах учредителя управления или указанного им лица (выгодоприобретателя).

Данная форма управления широко используется в таких странах как США, Япония, Великобритания [1].

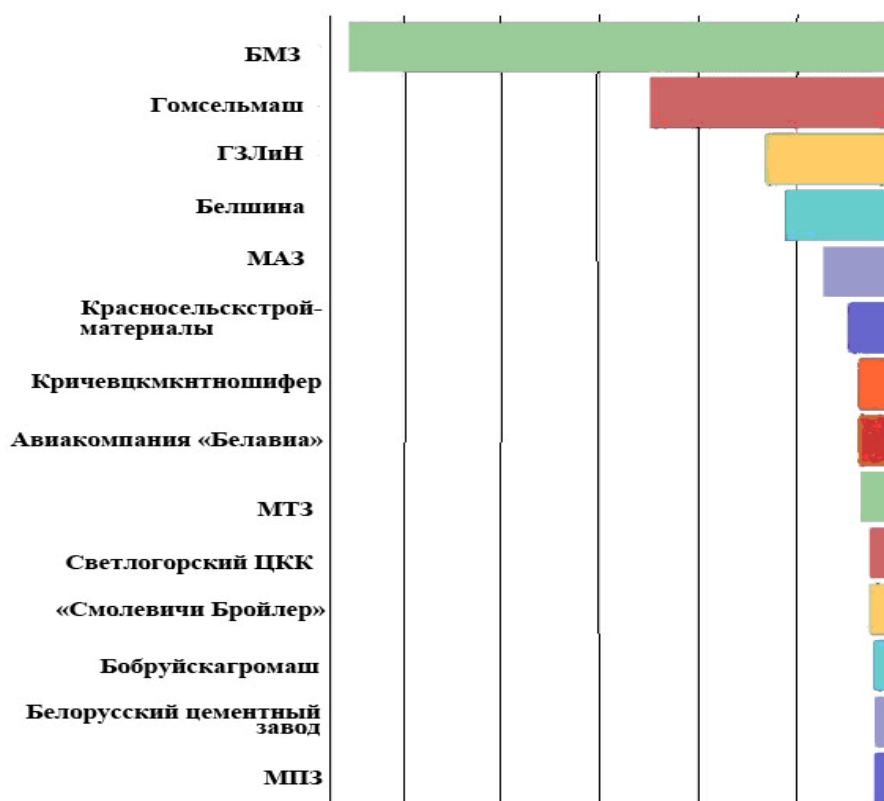


Рис. 1. Рейтинг ОАО по объему убытка по итогам 1 квартала 2016 г.

Предметом доверительного управления могут быть предприятия и другие имущественные комплексы, отдельные объекты, относящиеся к недвижимому имуществу, ценные бумаги, права, удостоверенные бездокументарными ценными бумагами, исключительные права и другое имущество (ст. 132 ГК).

В Республике Беларусь, несмотря на наличие правовой и нормативной базы, институт доверительного управления предприятиями отсутствует. Имеют место некоторые успехи внедрения такого управления в банковской сфере в форме инвестиций в ценные бумаги.

Имущественный комплекс может быть передан в доверительное управление, если предприятие не является унитарным, поскольку имущество унитарного предприятия находится либо в хозяйственном ведении, либо в оперативном управлении (а это, как указывалось выше, прямой запрет на передачу имущества в доверительное управление).

Институт доверительного управления имуществом позволяет собственнику имущества (вверителю) реализовать самые разнообразные цели, при этом мотивы, которыми он руководствуется, учреждая доверительное управление, могут быть обусловлены множеством причин: отсутствием необходимых знаний, навыков, возможностей для того, чтобы распоряжаться имуществом с выгодой для себя (или для третьих лиц) и без ущерба для окружающих; прямым указанием закона на необходимость заключения договора доверительного управления имуществом (например, при необходимости управления имуществом безвестно отсутствующего лица); желанием собственника переложить бремя управления имуществом на другое лицо [2].

В ситуации белорусской экономики доверительное управление могло бы стать разумной альтернативой политике приватизации.

Практика передачи государственных акций в доверительное управление в Беларуси использовалась единожды. Госпакет акций ОАО «Криница» был передан в доверительное управление «Приорбанку» в соответствии с постановлением Совета министров № 883 от 30 июня 2003 г. сроком на пять лет. Это позволило привлечь банковские кредиты для проведения реконструкции предприятия. Далее сотрудничество продлено не было.

Основной причиной экономической несостоятельности субъектов хозяйствования является некомпетентность руководителей и их слабая теоретическая подготовка в сфере менеджмента. Роль доверительного управления актуальна также в том отношении, что оно призвано сформировать новый слой управляющих – предпринимателей, специалистов в сфере рыночной экономики [3]. При этом государство может вести эту работу в двух направлениях:

1. Стимулирование существующих управленческих кадров рентабельных коммерческих организаций негосударственной формы собственности к данному виду деятельности.

2. Подготовка и стажировка в странах с развитым институтом доверительного управления специалистов, имеющих базовое высшее образование в сфере менеджмента, но не имеющих управленческий опыт.

По нашему мнению, государство может обеспечить высокую мотивацию у предпринимателя заниматься данным видом деятельности, тем более что она не требует приобретения в собственность имущественного комплекса, и соответственно, значительного первоначального капитала.

Литература

1. Ермоленко, Д. В. Анализ зарубежной практики управления собственностью / Д. В. Ермоленко, Д. Б. Мотова // Науч. журн. КубГАУ – Scientific Journal of KubSAU. – 2009. – № 49. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zarubezhnoy-praktiki-upravleniya-sobstvennostyu>. – Дата доступа: 14.03.2017.
2. Ковалевич, А. Е. Доверительное управление: сущность и содержание / А. Е. Ковалевич // Весн. Беларус. дзярж. экан. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 73–79.
3. Гудакова, Л. В. Проблемы российских институтов доверительного управления / Л. В. Гудакова, И. В. Рындина // Финансы и кредит. – 2010. – № 4. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-rossijskih-institutov-doveritelnogo-upravleniya> # ixzz4bF1EQw76. – Дата доступа: 23.03.2017.

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ВЫПУСКУ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Е. Г. Данченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Е. А. Кожевников

Субъекты хозяйствования Республики Беларусь функционируют в настоящее время в очень непростых условиях. Жесткая конкуренция на внутреннем и зарубежном рынках; сочетание тенденций глобализации с протекционистскими мерами ряда стран и экономических союзов; динамичность и неурегулированность на рынках энергоносителей; трудности становления Евразийского экономического союза – это только несколько ключевых проблем из целого набора, воздействующего на белорусские предприятия.

Особенно наглядно это проявляется на промышленных предприятиях, связанных с машино- и станкостроением. Причем те из них, которые не выпускают конечную продукцию, а изготавливают комплектующие узлы, агрегаты, оборудование, находятся еще в более сложных и противоречивых условиях. Поэтому нами в качестве объекта исследования было выбрано открытое акционерное общество «САЛЕО-Гомель».

Формирование данного предприятия относится к далеким шестидесятым годам XX в., когда на базе цеха жаток завода «Гомсельмаш» был создан завод «Гидропривод» по производству гидроаппаратуры. Основная номенклатура на момент создания предприятия – гидроцилиндры, предназначенные для установки в гидросистемы сельскохозяйственной техники, выпускаемой заводом «Гомсельмаш». В 2001 г. предприятие приобрело статус республиканского унитарного предприятия, а в 2004 г. вошло в состав Минского тракторного завода. В 2007 г. предприятие стало резидентом свободной экономической зоны «Гомель-Ратон». В августе 2014 г. «Гидропривод» включен в состав холдинга «Салео» и в 2015 г. переименован в ОАО «САЛЕО-Гомель».

ОАО «САЛЕО-Гомель» как производитель занимает весомую позицию на рынке и является одним из ведущих предприятий-изготовителей гидравлической продукции для производства и ремонта дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники.

Предприятие производит контрольно-регулирующую гидроаппаратуру для тракторов и мобильной техники, встраиваемую и модульную аппаратуру для универсальных металлорежущих станков, автоматических линий и агрегатного оборудования для отраслей промышленности и сельского хозяйства, аксиально-поршневые насосы и гидромоторы для дорожной, строительной, подъемно-транспортной, коммунальной, мелиоративной, сельскохозяйственной, лесной и другой гидрофицированной техники, к которой относятся фронтальные погрузчики, автокраны, асфальтовые катки, карьерные самосвалы, экскаваторы, зерно- и кормоуборочные комбайны, косилки и др. ОАО «САЛЕО-Гомель» является единственным в Республике Беларусь предприятием, серийно выпускающим аксиально-поршневые гидроагрегаты.

В течение 2011–2014 гг. предприятием была освоена продукция для новых моделей мобильной техники ОАО «МТЗ» и ОАО «Гомсельмаш».

Системное и комплексное решение озвученных в начале статьи проблем возможно только на основе значительного усиления конкурентоспособности предприятия и выпускаемой продукции.

Конкурентоспособность организаций – это способность производителей и продавцов товаров конкурировать со своим соперниками, поставляющими на те же рынки аналогичные товары [1]–[3]. В такой конкурентной борьбе за овладением рынками организации для привлечения покупателей используют рекламу, снижение цен, повышение качества продукции, оказание допродажных и послепродажных услуг.

Под конкурентоспособностью производителя понимается его способность вести эффективную производственно-сбытовую деятельность и тем самым противостоять конкурентам. Критерием эффективности этой деятельности может служить прибыль или другие финансовые и коммерческие показатели как статического, так и динамического типа.

Нами были обстоятельно изучены основные конкуренты ОАО «САЛЕО-Гомель», к которым относятся прежде всего:

– ОАО «Мелитопольский завод тракторных гидроагрегатов» – крупнейший в Украине и странах СНГ производитель гидравлических распределителей и гидроцилиндров для гидросистем тракторов, сельскохозяйственных и других мобильных машин;

– ОАО «Гидравлик» (г. Грязи, Российская Федерация) – выпускает гидравлическое оборудование для станкостроительной и инструментальной промышленности;

– ООО «Коммунар» (Оренбургская область, Российская Федерация) – старейшее предприятие по выпуску гидроприводов для гидравлических прессов, существующее с 1941 г.

Конкурентоспособность продукции ОАО «САЛЕО-Гомель» оценивалась по таким параметрам как ассортимент, наработка на отказ, диапазон технических характеристик, вероятность обнаружения брака, соответствие потребностям покупателей, возможность производства по заказу, обновление ассортимента, цены, условия оплаты, условия доставки, скорость обработки и выполнения заказов.

В основу комплексной оценки конкурентоспособности продукции был положен интегральный метод с использованием экспертных оценок. Лидерами по уровню конкурентоспособности продукции оказались ОАО «САЛЕО-Гомель» и ОАО «Мелитопольский завод тракторных гидроагрегатов». Наиболее значимыми параметрами конкурентоспособности продукции были признаны: цена, скорость обработки и выполнения заказов, а также наличие сервисного и гарантийного обслуживания.

Таким образом, резервами увеличения конкурентоспособности продукции ОАО «САЛЕО-Гомель» были признаны: установление более конкурентоспособных цен, отвечающих современным условиям рынка; использование средств стимулирования сбыта и комплекса коммуникаций для повышения известности организации на рынке (участие в выставках, ярмарках, продвижение в сети интернет). Кроме того, важным условием является совершенствование системы доставки товаров потребителям.

В частности, проанализировав сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы ОАО «САЛЕО-Гомель», был сделан ряд выводов. Предприятию необходимо расширять основное производство; повышать эффективность рекламной деятельности; произвести замену производственного оборудования; оказывать сервисные услуги: обеспечивать своевременную доставку, возможность получения технических консультаций, гарантию замены товара, предоставление кредита. Это позволит создать дополнительные рабочие места, увеличить приток денежных средств и увеличит спрос на продукцию.

Слабыми сторонами в производственно-хозяйственной деятельности предприятия являются: длительное время процесса переоборудования производства; таможенные барьеры, которые влияют на процесс товародвижения; высокие транспортные расходы; отсутствие детального мониторинга зарубежного рынка сбыта. В будущем для повышения рентабельности производства следует осваивать технологии высокоскоростного точения на токарных станках с ЧПУ HAAS модели SL-10THE BAR с применением прогрессивного режущего инструмента со сменными неперетачиваемыми твердыми пластинками ведущих зарубежных фирм. Также нужно брать ориентир на зарубежных заказчиков, так как они более платежеспособны.

Для того чтобы преодолеть влияние угроз, необходимо использовать сильные стороны предприятия. Заключение долгосрочных контрактов с поставщиками позволит защититься от неблагоприятного изменения цен на сырье и материалы. Также

необходима оценка деятельности предприятия, слежение за ситуацией и введение корректирующих воздействий при изменении факторов внешней среды.

Для ослабления действия неблагоприятных факторов и слабых сторон предприятия необходимо создать режим наибольшего благоприятствования постоянным крупнейшим клиентам; сформировать дилерские центры на территории Российской Федерации и других участников Евразийского экономического союза; увеличить оборотные средства предприятия с привлечением банковских кредитов; активнее внедрять новые технологии и оборудование.

На основе комплексного анализа деятельности ОАО «САЛЕО-Гомель» и выпускаемой им продукции были предложены некоторые направления, способные повысить конкурентоспособность и предприятия, и продукции. В частности это:

- система мер по укреплению имиджа надежного поставщика гидротехнической продукции;
- действия по оптимизации доставки продукции потребителям;
- система мер обучающего характера по деятельности персонала на зарубежных рынках гидротехнической продукции;
- предложения по выбору рациональных форм коммерческих расчетов с покупателями и заказчиками и снижению дебиторской задолженности;
- конкретные предложения по совершенствованию упаковки станочной гидравлики и формированию оптимальных партий изделий.

В качестве перспективных направлений стратегического развития ОАО «САЛЕО-Гомель» и повышению конкурентоспособности данной организации были подтверждены следующие:

1. Развитие мощностей по выпуску и освоению новых гидроузлов для ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Мозырский машиностроительный завод», ОАО «БЗТДиА», ОАО «САЗ».

2. Развитие мощностей по выпуску гидроблоков с постановкой на производство импортозамещающей продукции: гидрозамков повышенной герметичности типа ГЗМ6 и распределителей типа РГЕ6/3 – под программу выпуска зерно- и кормоуборочной техники производства ОАО «Гомсельмаш».

3. Развитие мощностей по выпуску гидроаппаратуры для ОАО «Минский автомобильный завод» и ОАО «Амкодор», ОАО «Минский завод колесных тягачей».

4. Развитие мощностей по выпуску гидроаппаратуры для ОАО «Бобруйск-агромаш».

5. Развитие мощностей по выпуску станочной гидроаппаратуры и гидроаппаратуры для зерно- и кормоуборочной техники для поставок в сервисные центры на территории Республики Беларусь, Евразийского экономического союза, стран СНГ, стран Евросоюза (прежде всего Литва), дальнего зарубежья.

Л и т е р а т у р а

1. Азоев, Г. Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика / Г. Л. Азоев. – М. : ЦЭИМ, 2014. – 207 с.
2. Алексеенко, Н. А. Экономика промышленного предприятия : учеб. пособие / Н. А. Алексеенко, И. Н. Гурова. – Минск : Изд-во Гревцова, 2011. – 264 с.
3. Сак, А. В. Оптимизация маркетинговых решений : учеб. пособие / А. В. Сак, В. А. Журавлев. – Минск : Изд-во Гревцова, 2010. – 304 с.

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПОЛИТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Е. Д. Бранец

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. В. Ермалинская

Введение. В сложных экономических условиях возможности конкурентного развития отраслей и предприятий АПК во многом зависят от приоритетов государственной политики, создаваемого инвестиционного климата и комплекса активизирующих мер в рамках мер государственной поддержки сельскохозяйственного сектора. Требуется активизация инвестиционного процесса как на макро-, так и на микроэкономическом уровне.

На макроэкономическом уровне актуальными остаются вопросы формирования оптимальной структуры АПК и рационального размещения производительных сил; перехода с ведомственных на территориальные принципы планирования капитальных вложений; реализации дифференцированной политики при использовании государственных дотаций и инвестиций с учетом конкретных условий и целесообразность поддержки того или иного предприятия; привлечения лизинговых компаний и других финансовых структур к финансированию долгосрочных кредитов в АПК и др.

На современном этапе приоритетными направлениями инвестиционной политики в АПК являются: развитие перерабатывающих отраслей и хранения сельскохозяйственной продукции; опережающее развитие материально-технической базы племенного дела и семеноводства; освоение ресурсосберегающих технологий, развитие тароупаковочного хозяйства. Немалая роль отводится поддержке малого и среднего бизнеса в АПК.

Реализуется и большое количество проектов с иностранным капиталом – строительство биогазовых комплексов, комплексов по выращиванию индейки и др. В качестве примера следует заметить, что интерес к сфере белорусского АПК проявляют итальянские инвесторы, предлагающие услуги в возведении кролиководческих, молочно-товарных ферм и свинокомплексов с технологиями углубленной переработки молока и производства мясо-молочной продукции [5].

Основная часть. Машиностроительный комплекс – основа научно-технического прогресса и материально-технического перевооружения всех отраслей народного хозяйства. Он остается важнейшей отраслью экономики Беларуси с активным развитием сельскохозяйственного и транспортного машиностроения. В республике ежегодно выпускается более 59 тысяч тракторов, 2 тысяч зерноуборочных комбайнов, 22 тысяч грузовых автомобилей, 2 тысяч автобусов [5].

Потребность предприятий АПК в финансовых ресурсах на инвестиционные цели велика, в то же время многие реализуемые инвестиционные проекты часто бывают неэффективными. Проблема выбора приоритетных направлений инвестиционной политики и оценки эффективности инвестиционных проектов сложная, однако решаемая. Значимой остается и роль государства в части снижения социально-экономических издержек переходных процессов, обеспечения условий эффективного функционирования рыночных механизмов, стимулирования инвестиций в АПК.

На сегодняшний день основным программным документом, определяющим приоритеты социально-экономического развития в области эффективных инвестиций и ус-

коренного развития инновационных секторов экономики, является Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы [7]. Цели ее реализации: повышение экономической эффективности работы АПК, качества и конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, а также формирование рыночных основ хозяйствования в агропромышленном производстве. Сам же порядок осуществления инвестиций в АПК из республиканского и местных бюджетов, инвестиционных фондов предприятий и отдельных предпринимателей регулирует Закон Республики Беларусь «Об инвестиционной деятельности в Республике Беларусь» [9].

Инвестиционная политика предприятий представляет собой комплекс мероприятий, обеспечивающих выгодное вложение собственных, заемных и других средств в инвестиции в целях обеспечения стабильной финансовой устойчивости работы предприятий в ближайшей и дальней перспективе [2].

Инвестиционная политика на предприятиях должна вытекать из стратегических целей их бизнес-планов и быть направлена на обеспечение финансовой устойчивости предприятий как в текущем периоде, так и на перспективу.

При разработке инвестиционной политики на предприятиях необходимо придерживаться следующих принципов: 1) нацеленность инвестиционной политики на достижение стратегических планов предприятий и их финансовую устойчивость; 2) учет инфляции и фактора риска; 3) экономическое обоснование инвестиций; 4) формирование оптимальной структуры портфельных и реальных инвестиций; 5) ранжирование проектов и инвестиций по их важности и последовательности реализации исходя из имеющихся ресурсов и с учетом привлечения внешних источников; 6) выбор надежных и более дешевых источников и методов финансирования инвестиций.

Учет данных принципов позволит избежать многих ошибок и просчетов при разработке инвестиционной политики на предприятиях.

Под основными составляющими элементами инвестиционной политики предприятия понимаются следующие элементы:

1. Процедура оценки проектов. Необходимость выделения такого элемента, как процедура оценки, заключается в том, что в рамках данного элемента решается широкий круг задач, например, выбор типа инвестиционной политики, в рамках которой будет осуществляться отбор соответствующих инвестиционных проектов.

Выбор типа инвестиционной политики зависит от поставленных на предприятии целей. Определенная система целей позволяет конкретизироваться с инвестиционной деятельностью и выбором определенного вида инвестиционной политики на предприятии.

2. Методы оценки инвестиционных проектов. На сегодняшний день в условиях рыночной экономики в отечественной и зарубежной теории и практике известен целый ряд методов оценки эффективности инвестиций. Наибольшее распространение получили следующие методы: период окупаемости, коэффициент эффективности, чистый приведенный доход (NPV), индекс рентабельности и внутренняя норма рентабельности инвестиций. Перечисленные методы наряду с некоторыми положительными моментами имеют ряд существенных недостатков, которые необходимо учитывать в анализе при выборе наиболее эффективного вложения инвестиций.

Не может быть рекомендован один из методов в качестве универсального, при этом методы оценки эффективности нельзя рассматривать как взаимоисключающие.

Принятие решения об осуществлении проекта должно основываться на одновременном использовании: 1) метода, оценивающего абсолютную величину сверхнорма-

тивного эффекта; 2) метода, оценивающего относительную эффективность капитальных вложений; 3) метода, оценивающего оборачиваемость капитальных вложений.

Степень значимости результатов расчетов по каждому из методов для принятия окончательного решения зависит от особенностей конкретной ситуации. На практике выбираются проекты не столько наиболее прибыльные и наименее рискованные, сколько лучше всего вписывающиеся в стратегию фирмы [5].

Инвестирование в АПК – процесс простого или расширенного воспроизводства средств производства, а также осуществление инвестиций в экономические объекты и процессы, виды экономической деятельности в АПК, непосредственно связанные (и касающиеся образа жизни людей) с потреблением населением материальных и духовных благ, услуг, удовлетворением конечных запросов человека, семьи, коллектива, групп, общества в целом [4]. Пакет инвестиций и связанные с ним виды деятельности фиксируются в инвестиционном проекте. Для последнего характерны не только определенность решаемых проблем и достигаемых целевых ресурсов в течение установленного периода времени, но и четкая ограниченность основных ресурсов, учет внешних условий (экономических, институциональных, правовых и т. д.), а также взаимосвязанность процессов вложения ресурсов с ожидаемыми результатами.

Роль инвестиций в воспроизводстве и социально-экономическом развитии АПК существенно возрастает по мере перехода сельскохозяйственного и агропромышленного производства к расширенной воспроизводящей системе. Это обусловлено вовлечением до 1/6 части сельскохозяйственной продукции в техническую переработку и доработку. Кроме того, доля затрат несельскохозяйственных отраслей в конечном продукте сельского хозяйства постоянно растет и составляет в развитых странах 70–75 %, в Республике Беларусь – 60–65 % [2]. Поэтому в ряде случаев субъект хозяйствования вынужден специализировать производство под потребности кредиторов и заказчиков.

При обосновании инвестиций в АПК, как и в любую сферу хозяйственной деятельности, необходимо исходить из интересов общества, т. е. капитальные вложения должны не только быть эффективными в пределах предприятия или отрасли, но и оказывать положительное влияние на весь народнохозяйственный комплекс и окупаемость средств.

Ценность инвестиционного проекта определяется разностью суммарной величины его положительных результатов (выгод) и затрат (потерь). Затраты и выгоды инвестиционного проекта могут быть оценены по следующим критериям [10]: долгосрочная жизнеспособность; техническая осуществимость; финансовая и экономическая эффективность; экономическая приемлемость; приемлемость в политическом, социальном и культурном отношении (отражает ли проект местные условия, оказывает ли отрицательное воздействие на некоторые группы населения).

Денежные средства, используемые в инвестиционном проекте, не одинаковы во времени, т. е. рубль, вложенный сегодня в инвестиции, не тождественен рублю через год-два и т. д. Это вызывается тем, что в рыночной экономике деньги должны эффективно использоваться и приносить владельцу прибыль (либо их помещают в банк под определенный процент, либо в прибыльное производство и т. п.). Поэтому стоимость одного рубля, полученного сегодня, всегда больше, чем стоимость одного рубля, получаемого в будущем. В связи с этим при оценке эффективности реализации проекта рассредоточенные во времени денежные потоки должны быть приведены к текущему (современному, начальному) периоду с помощью специального приема, называемого дисконтированием.

Дисконтирование – это способ приведения будущих доходов и расходов к сегодняшнему дню с использованием ставки процента (нормы дисконта). При анализе инвестиционных проектов предусматривают использование сложных процентов, предполагающих получение инвестором дохода как с первоначального капитала, так и с процентов, полученных в предыдущие годы.

На современном этапе развития наибольшее распространение получили динамические методы оценки эффективности инвестиций.

К динамическим показателям относятся чистый приведенный доход (NPV), индекс доходности (PI), внутренняя норма рентабельности (IRR), динамический период окупаемости (PP) [8, с. 170].

Чистый приведенный доход отражает прогнозную оценку изменения экономического потенциала предприятия в случае принятия рассматриваемого проекта.

Учитывая, что NPV – абсолютный показатель, характеризующий экономический эффект, то: если $NPV > 0$ – проект следует принять, поскольку увеличится стоимость предприятия и благосостояние его владельцев; если $NPV < 0$ – проект следует отвергнуть, поскольку предприятие понесет убытки; если $NPV = 0$ – проект ни прибыльный, ни убыточный и его реализация не изменит стоимость предприятия, но приведет к расширению объемов производства и увеличению масштабов самого предприятия.

Индекс доходности является следствием предыдущего показателя. В отличие от NPV это относительный критерий, который характеризует степень эффективности вложений.

В том случае, если $PI > 1$ ($NPV > 0$), то проект следует принять, если $PI < 1$ ($NPV < 0$), то проект следует отвергнуть; если $PI = 1$ ($NPV = 0$), то проект ни прибыльный, ни убыточный [8, с. 175].

Внутренняя норма рентабельности, по сути, является точкой безубыточности для рассматриваемого инвестиционного проекта, поскольку представляет собой дисконтную ставку, при которой денежные потоки лишь покрывают вложенный капитал, не обеспечивая получение дополнительной прибыли [8, с. 176]. Следовательно, IRR – это дисконтная ставка, при которой $NPV = 0$.

Следовательно, предприятие может принимать любое инвестиционное решение, если цена авансированного капитала не превышает значения IRR по рассматриваемому инвестиционному проекту.

Дисконтированный срок окупаемости, по сути, не характеризует эффективность вложения капитала. Вместе с тем, его расчет необходим для определения степени риска инвестиционного проекта, обусловленного периодом возврата авансированного капитала.

Заключение. Таким образом, для сохранения и развития производственного потенциала агропромышленного предприятия, укрепления его позиций на потребительском рынке, обеспечения стабильно высокого уровня конкурентоспособности необходима реализация продуманной инвестиционной политики с учетом складывающихся внешних условий.

Литература

1. Moy univer / Экономика / Теоретические аспекты инвестиционной политики промышленных предприятий. – 2017. – Режим доступа: <http://moyuniver.net/teoreticheskie-aspekty-investicionnoj-politiki-promyshlennyyh-predpriyatij/>. – Дата доступа: 18.03.2017.
2. UFC Management / Инвестиции / Экономическая сущность и реализация инвестиционной деятельности / Инвестиционная политика предприятия. – 2017. – Режим доступа: <http://bbest.ru/invest/syirealinvede/invpolpred/>. – Дата доступа: 18.03.2017.

3. Ассоциация фермеров Гомельской области / Программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы. – 2016 – Режим доступа: <http://gomelfarmer.by/programme-razvitiya-agrarnogo-biznesa-v-respublike-belarus-na-2016-2020-gody/>. – Дата доступа: 18.03.2017.
4. БарГУ / Учебные материалы / Лекции / Экономика АПК / Инвестиции в АПК и повышение эффективности их использования. – 2013. – Режим доступа: <http://bargu.by/3054-investicii-v-ark-i-povyshenie-effektivnosti-ih-ispolzovaniya.html>. – Дата доступа: 18.03.2017.
5. Беларусь-факты / Экономика и бизнес / Основные отрасли экономики / Агропромышленный комплекс. – 2017. – Режим доступа: http://belarusfacts.by/ru/belarus/economy_business/key_economic/agroindustrial/. – Дата доступа: 18.03.2017.
6. Министерство сельского хозяйства Республики Беларусь / Программы. – 2017. – Режим доступа: <http://mshp.gov.by/programms/>. – Дата доступа: 18.03.2017.
7. Министерство сельского хозяйства Республики Беларусь / Программы / Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы. – 2017. – Режим доступа: <http://mshp.gov.by/programms/fdbac4b499a1dde8.html>. – Дата доступа: 18.03.2017.
8. Морозов, Ю. П. Планирование на предприятии : пособие / Ю. П. Морозов, Е. П. Баровиков ; под ред. Ю. П. Морозова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2004.
9. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь : Закон «Об инвестиционной деятельности» / Закон Респ. Беларусь 12 июля 2013 г. № 53-3. – 2013. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=H11300053&p1=1>. – Дата доступа: 18.03.2017.
10. Фонд поддержки аграрной реформы и сельского развития / Понятие и роль инвестиций в расширенном воспроизводстве и социально-экономическом развитии предприятия. – 2003. – Режим доступа: <http://www.raf.org.ru/raf0025.htm>. – Дата доступа: 18.03.2017.

**ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЫТА
«ЛИГИ ВЫДАЮЩИХСЯ РУКОВОДИТЕЛЕЙ»
ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ
ПРЕДПРИЯТИЯМИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

А. О. Внукова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Я. П. Хило

Современное промышленное предприятие представляет собой сложный комплекс, динамизм и слаженность работы которого обеспечиваются механизмом управления, устанавливающим внутренние связи и учитывающим деятельность всех звеньев и работников предприятия – от рабочего до директора.

Управление предприятием является сложным процессом планирования, организации, мотивации, контроля и регулирования действий персонала, постановки стратегических целей и тактических задач предприятия, принятия управленческих решений и обеспечения их выполнения. Одной из важнейших задач в управлении предприятием является проведение объективной оценки и оплаты результатов деятельности каждого работника как основы эффективной мотивации его труда.

Для повышения эффективности организации производства и мотивации труда в Республики Беларусь следует, в том числе, обратиться к личностям выдающихся руководителей, применившим нестандартные методы организации производственных процессов, сохраняющие свою актуальность и в современных условиях хозяйствования.

Дэвид Паккард – один из первых миллиардеров Силиконовой долины. Он со своим другом и сокурсником Уильямом Хьюлеттом в 1938 г. образовал товарищество, названное Hewlett-Packard Company, с уставным капиталом 538 долл. В первый

год они заработали 1539 долл., а в 1942 г. оборот компании достиг 2000000 долл. Столь успешный руководитель практиковал ставший позже знаменитым метод управления «прогуливаясь там и сям» (management by walking around), который заключался в оборудовании своего рабочего места в комнате инженеров и постоянном посещении производственных участков предприятия. Данный метод позволяет быть в курсе всего происходящего в цепочке бизнес-процессов, оставаться видимым и доступным для своих подчиненных, повысить рейтинг руководителя среди подчиненных.

В 1970-е гг., когда экономика США постепенно пошла на спад, Дэвид Паккард не стал массово увольнять сотрудников, а вместо этого согласовал с ними новый режим рабочего времени: в течение двух недель нужно было отработать не десять, а девять рабочих дней. Всем сотрудникам, включая руководителей, сократили зарплату всего на 10 %. В течение года экономика США восстановилась, а Дэвиду Паккарду удалось избавиться от ненужных расходов, которые возникли бы в результате увольнения и последующего найма сотрудников. Паккард создал корпоративную культуру, которая стала конкурентным оружием. В течение последующих сорока лет она обеспечивала непрерывный рост прибыли компании Hewlett-Packard.

Также хотелось бы обратиться к личности выдающегося менеджера, промышленнику, владельцу заводов по производству автомобилей, изобретателю, автору более ста пятидесяти патентов, кандидату в президенты США, автору ряда книг – Генри Форду. Обосновывая актуальность выбранной подтемы, следует отметить, что градообразующим предприятием города Гомеля является предприятие машиностроительной отрасли – ОАО «Гомсельмаш».

Заслуга Форда в том, что он создал поточное производство. В поисках снижения издержек Генри Форд обратил внимание на то, что рабочий тратил больше времени на поиск и доставку материала и инструментов, чем на работу. Прогулки рабочих по цеху оплачивать не хотелось. «Если двенадцать тысяч служащих сэкономят каждый ежедневно по десять шагов, то получится экономия пространства и силы в пятьдесят миль», – подсчитал Форд и сформулировал два принципа: заставлять рабочего не делать никогда больше одного шага и никогда не допускать, чтобы ему приходилось при работе наклоняться вперед или в стороны. Первого апреля 1913 г. Генри Форд начал работу по внедрению и установке в цехах предприятия непрерывной линии по сборке автомобилей.

В 1902 г. он делает своему автомобилю потрясающую рекламу – за рулем своей машины в автогонках Форд опережает чемпиона Америки! Лучшую пиар-компанию сложно и придумать, а уж Форд, как никто другой, понимает значимость рекламы: «Если бы у меня было 4 доллара, 3 из них я отдал бы на рекламу». Клиентура Форда стала расти, за счет привлечения инвесторов Генри в 1903 г. основывал компанию имени себя – Ford Motor Company.

Генри Форд построил самое большое индустриальное производство начала XX в. и заработал на нем \$1 млрд, он продал 15,5 млн автомобилей «Форд-Т», конвейер стал делом привычным и необходимым. В 1914 г. Генри Форд внедрил другое новшество, позже получившее название теории эффективной заработной платы, установив заработную плату на уровне \$5 в день, что вдвое превышала средние показатели оплаты труда. После чего у ворот заводов выстроились очереди соискателей, их количество значительно превышало число имевшихся вакансий. Подобная политика позволила снизить текучесть кадров, уменьшилось количество прогулов, выросла производительность труда, что выразилось в резком снижении издержек производства, несмотря на рост заработной платы и превышение ею равновесного уровня.

Генри Форд первым эффективно применил принцип преимущества объема продаж. «Производить с минимальной затратой материалов и человеческой силы, а продавать с минимальной прибылью» – вот основной постулат Форда. Он не допускал потерь времени, перерасхода энергии и материалов, свел к минимуму ручной труд. В итоге Форд продавал свои машины за поразительно низкую цену – 750 долл. (при среднемесячной зарплате в то время 250 долл.).

Настоящим реформатором Генри Форда начали называть после того, как он стал платить ремонтной бригаде деньги только за отдых. Эта сервисная бригада отвечала за бесперебойную работу конвейера, остановка которого несла большие убытки. Ремонтникам начислялась заработная плата в период, когда они находились в комнате отдыха, а в момент, когда зажигалась красная лампа, сигнализирующая о поломке конвейера, счетчик начисления денежных средств останавливался. Как следствие, бригада всегда стремилась выполнить ремонт качественно и в кратчайшие сроки.

Следует упомянуть и о выдающемся менеджере Лидо Энтони Якокка, который в 1953 г. являлся помощником управляющего отделением сбыта в Филадельфии, отделение на тот момент твердо расположилось на последнем месте по уровню продаж. Якокка предложил интересную маркетинговую программу, которая называлась «56 за 56» и заключалась в том, что любой покупающий автомобиль Ford 1956-го модельного года мог сразу оплатить лишь 20 % стоимости машины, а затем на протяжении следующих лет выплачивать по 56 долл. ежемесячно. Подобная система кредитования позволила компании увеличить объем реализаций, а Филадельфия по продажам переместилась с последнего на первое место за три месяца. Идея была одобрена высшим руководством и стала составной частью общей маркетинговой программы концерна.

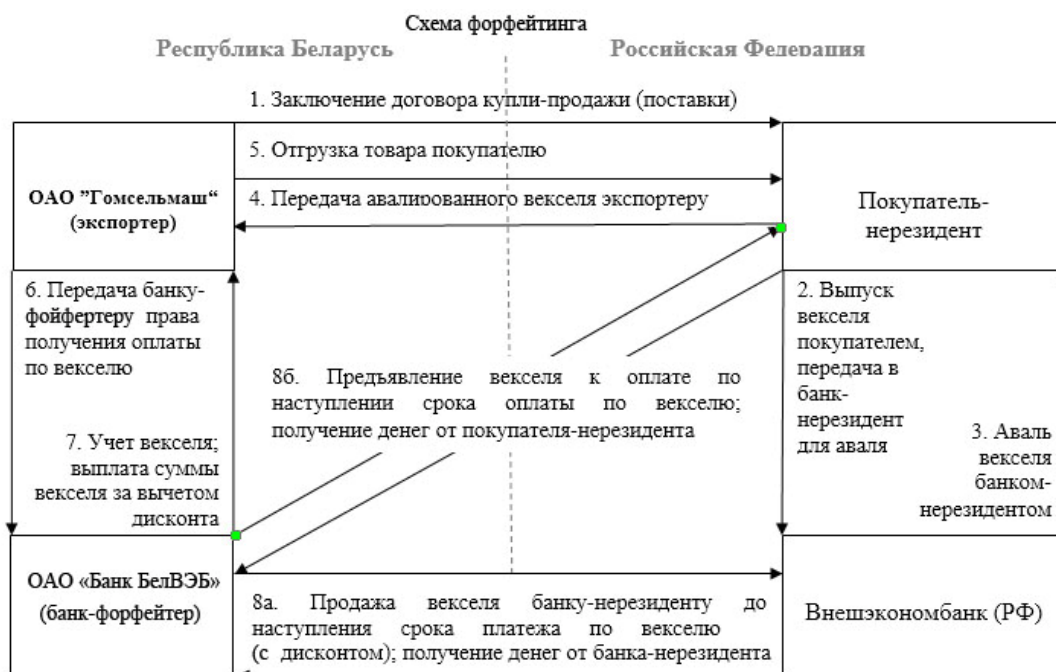


Рис. 1. Схема, отражающая последовательность действий при форфейтинге

В настоящее время в Республике Беларусь существуют более совершенные методы торгового инвестирования, чем программа Ли Якокка «56 за 56», например, Указ президента Республики Беларусь от 17 февраля 2015 г. № 69 «Об использовании векселей», который создает условия для усиления конкурентоспособности белорусских товаров и совершенствования финансовых механизмов стимулирования экспорта.

Преимущество форфейтинга по отношению к программе «56 за 56», аналогичной современной продаже товаров в рассрочку, в первую очередь заключается в том, что форфейтинговые операции позволяют в ощутимой мере уменьшить размеры дебиторской задолженности организации-продавца. Экспортер имеет возможность получения денежных средств непосредственно после поставки товаров или в срок, оговоренный в договоре, что позволяет свести к минимуму практически все виды рисков (риски банкротства гаранта, валютные риски, риски колебания процентных ставок), поскольку все они берутся на себя банком-форфейтером.

Принимая во внимание позитивный результат мотивационного метода «красной лампочки», принципа преимущества объемов продаж, метода эффективной заработной платы, применяемых Генри Фордом, состояние которого составляет 188 млрд долл., метода управления *management by walking around*, применяемого одним из первых миллиардеров Силиконовой долины Дэвидом Паккардом, программы «56 за 56», внедренной Лидо Якокка, целесообразно предложить применение данных методов на предприятиях Республики Беларусь, так как они не только оправдали свое применение на момент их использования, но и позволили организовать империи, способные приносить прибыль на протяжении многих лет.

Особенно хотелось бы выделить такие методы управления как *management by walking around*, мотивационный метод «красной лампочки» и применение форфейтинга, которые не предполагают денежных затрат при их применении и могут быть внедрены даже на тех предприятиях, которые испытывают финансовые трудности.

КАПЕЛЬНЫЙ ПОЛИВ (МАЛИНЫ)

В. А. Тарасенко

*ФГБОУВО «Брянский государственный аграрный университет»,
Российская Федерация*

Научный руководитель В. Н. Ожерельев

Малина является одной из наиболее требовательных к условиям выращивания сельскохозяйственных культур. В частности это обусловлено тем, что ее корневая система залегает в основном в поверхностном слое почвы, поэтому даже средне-срочная засуха негативно отражается как на урожайности текущего года, так и на способности растения накопить необходимый потенциал для урожая будущего года. Таким образом, засуха текущего года негативно отражается на урожайности в течение двух лет подряд. В связи с этим первоочередной задачей по совершенствованию технологии выращивания малины в промышленных масштабах является обеспечение для растений оптимального водного режима. В складывающихся в течение последних лет погодных условиях такой режим может быть обеспечен только при наличии искусственного орошения.

На протяжении многих лет (до 2010 г.) было принято считать, что в условиях Брянской области малину можно вполне успешно выращивать без орошения. Наличие стабильных ежемесячных осадков на уровне 80 мм в течение трех летних месяцев было достаточным основанием для такого вывода (см. таблицу).

Варьирование климатических показателей в г. Брянске за 2014–2016 гг.

Год	Месяц	Показатели климата			
		Среднемесячная температура		Осадки за месяц	
		$t, ^\circ\text{C}$	по отношению к среднему многолетнему уровню, %	сумма, мм	по отношению к среднему многолетнему уровню, %
2014	июнь	15,9	93	26,7	33
	июль	20,5	108	27,9	32
	август	18,8	107	36,3	53
2015	июнь	17,4	102	66,9	84
	июль	18,2	96	82,7	95
	август	18	103	8,4	12
2016	июнь	17,7	104	53,7	67
	июль	19,9	105	59	68
	август	18,7	107	28,4	41
В среднем за девять месяцев			103	–	54
Среднее многолетнее значение	июнь	17,1	–	80	–
	июль	18,9	–	87	–
	август	17,5	–	69	–

Однако существенные изменения климата, произошедшие в последнем десятилетии, крайне негативно отразились на товарном производстве ягод малины. Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что, например, в течение последних трех лет (относительно благополучных с точки зрения погодных условий) дефицит ежемесячной суммы осадков составил в среднем 46 % от среднего многолетнего уровня. Одновременно с этим среднее значение среднемесячной температуры в летние месяцы возросло на 3 %, что вызывает соответствующее увеличение испаряемости влаги. В экстремальные по погодным условиям годы (например, в 2010 г.) и даже в отдельные месяцы 2014–2016 гг. дефицит влаги на плантации малины мог достигать 60–70 %.

Трудность выбора способа орошения для плантации малины обусловлена рядом факторов, являющихся следствием специфики бизнеса. Небольшая площадь плантации, как правило, становится непреодолимым препятствием на пути реализации проекта, несмотря на то, что в государственном бюджете предусмотрена отдельная статья расходов, призванная помочь сельхозтоваропроизводителям в развитии систем ирригации.

В частности, трудноразрешимой является проблема источника воды. Если естественный водоем в непосредственной близости от плантации отсутствует, то строительство трубопровода значительной протяженности делает капитальные затраты некупаемыми. Такая ситуация сложилась в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» (Выгоничский район Брянской области). Ближайший источник воды, находящийся на расстоянии около одного километра, в связи с резким уменьшением суммы осадком усыхает, теряя ежегодно 20–25 % своего зеркала. В связи с этим экстенсивные способы полива напуском или дождеванием (рис. 1) исключаются ввиду

отсутствия доступа к относительно дешевой поливной воде. В этих условиях реальным источником водоснабжения системы полива плантации могут служить только подземные воды, что накладывает ряд ограничений на способ полива. Высокая себестоимость подъема воды из скважины усугубляется экологическим налогом, которым, как правило, облагаются системы водопользования. Следовательно, главным критерием выбора способа полива в этих условиях является экономное расходование воды.

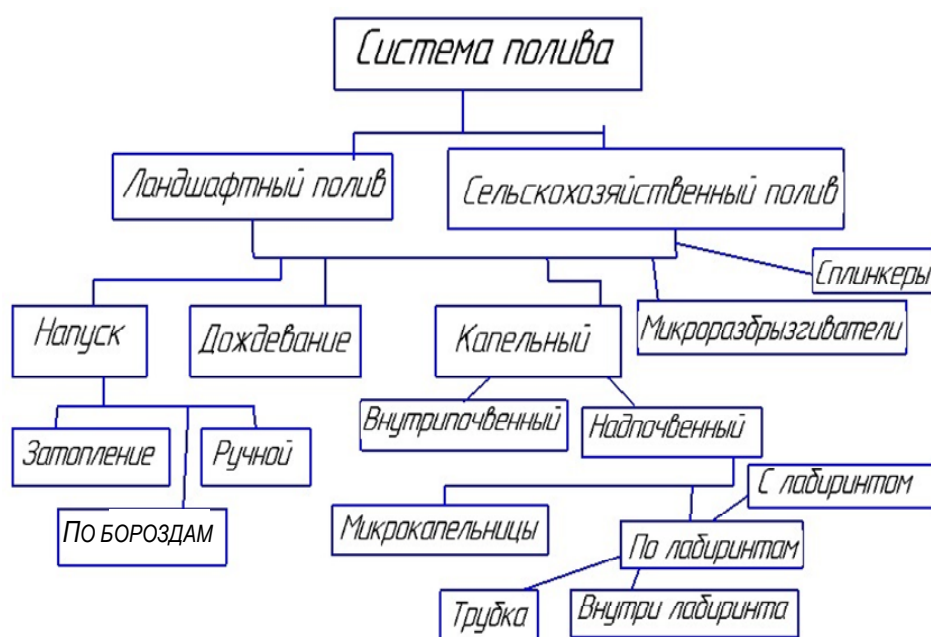


Рис. 1. Способы полива

В наибольшей степени этому условию соответствуют капельные системы орошения (рис. 1). Практический опыт их использования на плантациях малины имеется в Ростовской области. За счет этого там удалось увеличить урожайность малины более чем в два раза.

Подпочвенные системы капельного орошения широко используются на плантациях земляники садовой, в частности в Каталонии (Испания). По перфорированным трубкам к корневой системе растений подается не просто чистая вода, а раствор удобрений и пестицидов оптимального состава. Однако суровость российского климата и более длительный срок эксплуатации системы орошения на плантации малины исключают возможность эффективного использования подпочвенных оросителей.

В связи с этим остается выбор между надпочвенными системами с индивидуальными капельницами, поддерживающими стабильность расхода воды по длине трубки, и поливными трубками, снабженными лабиринтной системой водовыпуска. Последний вариант более дешев, поскольку более технологичен в изготовлении. В 2016 г. в к(ф)х «Ягодное» была испытана капельная система орошения малины на базе трубок с водовыпусками лабиринтного типа (рис. 2, 3).



Рис. 2. Капельная система орошения

Результаты испытания свидетельствуют о том, что скорость выпуска воды через лабиринты достаточна для ее полного впитывания без растекания по поверхности. Кроме того, установлено, что поскольку экспериментальный ряд малины расположен на склоне, то добиться одинакового расхода вода через все водовыпуски не удастся. Расход воды через водовыпуски, расположенные в начале трубки (считая от места ее подсоединения к магистральной трубе), на 25–30 % больше, чем в конце. Пока достоверно не установлено, является ли причиной чрезмерной дифференциации расхода воды по длине трубки особенность конструкции лабиринтов, или прева-лирует влияние уклона местности.

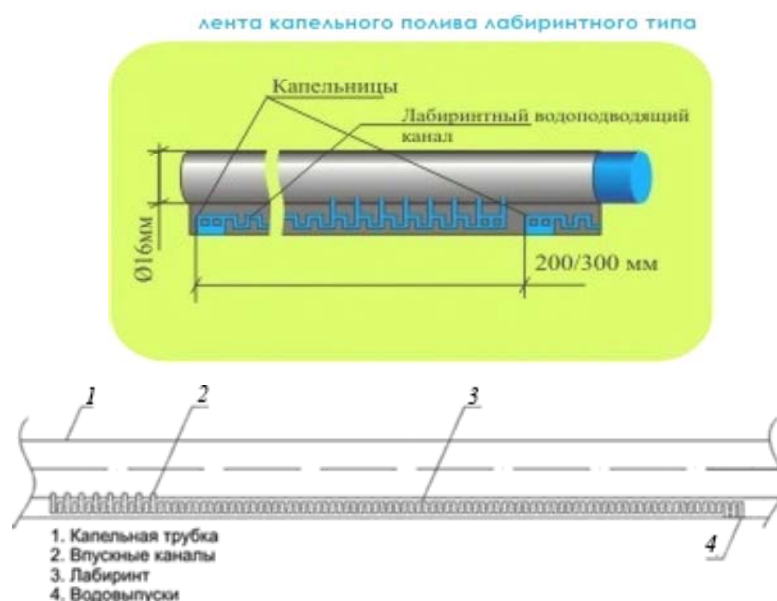


Рис. 3. Схема капельной системы орошения

На основании результатов испытаний можно сделать вывод, что применение системы капельного орошения на плантации малины может быть экономически эффективным. Для увеличения эффективности оросительной системы целесообразно усовершенствовать конструкцию водовыпусков лабиринтного типа с целью максимально возможного уменьшения дифференциации расхода воды по длине трубки. При этом следует учитывать, что ряды малины могут иметь перепад высот до одного метра на 50 м длины ряда.

СЕКЦИЯ VII МАРКЕТИНГ И КОРПОРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

МЕРЧЕНДАЙЗИНГ – ГЛАВНЫЙ ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Е. И. Морозова

*Учреждение образования «Белорусский государственный
экономический университет», Бобруйский филиал*

Научный руководитель А. Н. Бедретдинова

В современных условиях специалисты определяют мерчендайзинг как объективно необходимое средство активизации сбыта продукции для производителей и повышения рентабельности торгового пространства для розничных торговцев, как неотъемлемый элемент культуры торговли для крупных производителей товаров массового потребления и крупных корпоративных торговых сетей (прежде всего тех, в ассортименте которых преобладают продукты питания). Вместе с тем, мерчендайзинг может применяться и в других магазинах и для активизации продажи товаров других групп. Мерчендайзинг – это методика, которая позволяет за счет лучшего учета психологии поведения покупателей значительно увеличить продажи как отдельных товаров, так и товарооборот в целом по магазину [1].

Торговый зал – это место, где у продавца есть последний шанс показать покупателю товар, повлиять на его выбор и подтолкнуть его купить больше единиц товара. Не использовать этот шанс – значит добровольно отказаться от прибыли [2].

ООО БТЦ «Корона» специализируется на продажах продуктов питания, непродовольственных товаров, бытовой техники и электроники. Всего продается более 1000 наименований товаров. Главным направлением работы ООО БТЦ «Корона» в последние годы стало совершенствование существующей розничной сети с помощью инструментов мерчендайзинга, а также расширение и увеличение количества торговых точек.

Атмосфера – совокупность внешних факторов, присутствующих в торговом зале, оказывающих определенное влияние на сенсорные рецепторы и формирующих психологическое состояние покупателя. Рассмотрим отдельные элементы атмосферы ООО БТЦ «Корона». Наличие и характеристика визуальных компонентов в торговом зале представлено в табл. 1.

Таблица 1

Визуальные компоненты ООО БТЦ «Корона»

Элемент мерчендайзинга	Рекомендации	Важность элемента
Интерьер	Применение стеллажей из дерева или с деревянными вставками, зашивка данными элементами стен. Интерьер должен быть более направлен в сторону гостеприимства, уюта и комфорта	5
Расположение отделов	Изменение планировки магазина. Планировка магазина и размещение определенных групп товаров должны быть более доступны для покупателя	7

Окончание табл. 1

Элемент мерчендайзинга	Рекомендации	Важность элемента
Информативные знаки и рисунки	Объявления должны быть более броскими и заметными	8
Вывески и указатели в торговом зале	Необходимо подвесные указатели сделать более заметными. Это позволит покупателям проще и быстрее ориентироваться в торговом зале	8
Ценники на товар	Создание общего резерва для обновления ценников по всей сети магазинов «Корона»	9
POS-материалы	Необходимо разработать POS-материалы	9
Цвет	Добавление более теплых тонов в магазине позволит сделать его уютнее для покупателей	6
Освещение и световые эффекты	Использование света в целях выделения секций	7
Запахи	Применение аромамаркетинга	4
Торговый персонал	Расширение обязанностей, дополнительные знания	10
Ассортимент товара	Удалить и освободить место для товаров, имеющих высокий товарооборот	7
Выкладка товара	Включить в обязанности персонала контроль за выкладкой продукции	8

Источник: собственная разработка на основе данных предприятия.

Электронные средства рекламы ООО «Корона» используют магазинное телевидение и радио, мультимедийные терминалы, говорящие ценники, голограммы, кабельное и спутниковое телевидение.

Присутствие элементов воздействия на покупателя в ООО «Корона» представлено в табл. 2.

Таблица 2

Присутствие элементов воздействия на покупателя в ООО «Корона»

Наименование элемента воздействия на покупателя	Присутствие в ООО «Корона»
Визуальные компоненты атмосферы магазина	+
Световые эффекты	+
Цвет	+
Музыка	+
Запахи	+

Источник: собственная разработка на основе данных предприятия.

Все данные приемы заставляют покупателя чувствовать себя в магазине более комфортно, проводить там больше времени, совершая покупки.

Наибольшее значение расположение оборудования имеет для покупателя, так как позволяет ему чувствовать себя в магазине комфортно. Готовность рекомендовать компанию – это крайне важный показатель, который характеризует деятельность

сети «Корона» и лояльность покупателей. По данным предприятия: 50 % покупателей готовы рекомендовать ООО «Корона», 33 % – нейтрально относятся к компании и не будут рекомендовать ее, 17 % – критики.

Чтобы воздействовать на процесс покупки, необходимо знать поля действия сил, в которых может оказаться предмет, выставленный для продажи, и иметь возможность оценить в поведенческих терминах каждый из аспектов товара.

Одним из критериев оценки эффективности мерчендайзинговых мероприятий является потребительская оценка. По своей сути мерчендайзинг создает визуально-информационную модель, способствующую продаже товара, повышая его ценность в потребительской оценке.

Рассмотрев мерчендайзинг в ООО «Корона», были выявлены определенные недостатки по элементам, таким как: заметность информативных знаков и рисунков, вывески и указатели в торговом зале; ценники на товар; использование POS-материалов, цвета магазина и внешней вывески; освещение и световые эффекты; внешний вид и квалифицированность торгового персонала; выкладка товаров.

Данные изменения направлены на достижение благоприятной атмосферы внутри магазина. Один из приоритетных показателей для ООО «Корона» – лояльность покупателей. Для достижения максимальной лояльности необходимо понимать важность каждого элемента мерчендайзинга и значимость их для покупателей.

Любые мерчендайзинговые мероприятия имеют конечную цель в виде увеличения продаж и прибыли торгового предприятия. С этой точки зрения и следует оценивать предлагаемые мероприятия.

Таким образом, мерчендайзинг – это наиболее часто применяемое направление маркетинга. Он дает возможность организациям представлять свой товар с наиболее выгодной стороны, подчеркивать его преимущества, наиболее подробно и красочно описывать его основные характеристики.

Л и т е р а т у р а

1. Режим доступа: <http://www.cfin.ru/press/practical/2001-07/03.shtml>.
2. Режим доступа: <http://www.grandars.ru/college/psihologiya/merchendazing.html>.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВНЕШНЕГО РЫНКА СБЫТА ПРОДУКЦИИ ОАО «8 МАРТА» И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

С. Я. Дмитриченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Р. А. Лизакова

Производственная деятельность предприятия в итоге подразумевает сбыт товара. Эта часть самая ответственная из всего хозяйственного процесса производства и реализации продукции. Именно от нее зависит прибыль, получаемая от реализации. Анализ рынка сбыта продукции предполагает своей целью выбор оптимального канала сбыта продукции предприятия. Главные задачи анализа рынков сбыта товаров – оценка каналов сбыта, спроса и возможного объема закупки на каждом из них. Подробное и кропотливое исследование рынка сбыта напрямую влияет на успешность деятельности предприятия на рынке. Основные этапы исследования и анализа рынка сбыта состоят в определении рыночной структуры, типа рынка, его конъюнктуры, выборе каналов сбыта, а также позиционировании рынка и определении

максимально возможных продаж на данном рынке. Исследование рынка сбыта подразумевает определение типа рынка для продукции организации. Выбор рынка сбыта и оценка эффективности стимулирования сбыта на нем должны основываться на его типе. Характеристики рынка тоже важны для исследования рынка сбыта товаров. Следует также определить ограничения, существующие на данном рынке.

Рынок сбыта ОАО «8 Марта» представлен внутренним и внешним рынком. При внутреннем рынке сбыт осуществляется в шесть областей республики: Брестскую, Витебскую, Гомельскую, Гродненскую, Минскую и Могилевскую.

Основной объем экспортных поставок не внешний рынок приходится на Российскую Федерацию – 95,8 %, поставки в страны ближнего зарубежья составляют 3,5 %, в страны дальнего зарубежья – 0,7 %. Странами-импортерами белорусского трикотажа и полотна выступили Российская Федерация, Казахстан, Украина, Молдова, Армения, Чехия, Латвия. Динамика развития экспорта в 2016 г. продукции ОАО «8 Марта» представлена в таблице.

Динамика развития экспорта в 2016 г. продукции ОАО «8 Марта»

Страна	Темп роста 2016 г. к 2015 г., %
Российская Федерация	101,8
Украина	100,3
Казахстан	208,3
Молдова	117,7
Армения	100,0
Латвия	128,2
Чехия	103,5
<i>Итого</i>	102,0

Источник: собственная разработка.

Из таблицы видно, что перспективными с точки зрения потенциала, являются рынок Казахстана и Латвии, но по удельному весу в общем объеме поставок эти два рынка составляют на сегодняшний день около 1 %.

Поскольку рынок ближнего зарубежья в наибольшей степени представлен рынком Российской Федерации (95 % от общего объема поставок на внешний рынок), то в процессе реализации продукции ОАО «8 Марта» ориентирована в своих товаропроводящих сетях в первую очередь на Российскую Федерацию. Основной причиной уменьшения экспортных поставок на территорию основного импортера – Российской Федерации – является снижение конкурентоспособности наших изделий по ценовому фактору: российский рынок чулочно-носочных и трикотажных изделий является высококонкурентным, в том числе и по причине высокой насыщенности изделиями местных производителей.

Для продвижения своих изделий производители Российской Федерации используют весь комплекс маркетинговых средств и, в первую очередь, гибкую систему скидок, позволяющих продвигать чулочно-носочные изделия через сеть гипермаркетов, нацеленных на привлечение потребителя низкого и среднего уровня дохода. Рынок Российской Федерации насыщен импортными трикотажными изделиями низкого

уровня качества из стран Восточной Азии (Китай, Турция, Индия, Пакистан, Бангладеш). Так, по данным ассоциации «Рослегпром» объем «теневых рынков» одежды в России приблизился к отметке 50 %. Данные изделия реализуются по демпинговым ценам, что является угрозой развития как внутреннего производства, так и возможности наращивания экспорта со стороны производителей Республики Беларусь.

Рынок Украины характеризуется высокой долей импорта, который составляет до 85 % общего объема потребления трикотажных изделий. Основными странами-импортерами являются Китай, Турция, Италия, Венгрия, а также изделия нижнего ценового сегмента из стран Азии, незаконно ввозимые на территорию Украины. Основные сегменты рынка, имеющие устойчивый спрос, – это изделия детского и бельевого трикотажа. Покупатели предпочитают приобретать знакомые бренды и другие трикотажные изделия, реализуемые через сеть магазинов и в торговых центрах. Наряду с качественными изделиями немалую долю (до 15 % от всего ввозимого товара) занимают продажи через «сток» и «секонд-хенды». Изделия данного низкого ценового сегмента также популярны среди покупателей и имеют тенденцию к росту.

На рынке Украины эффективно функционируют производители трикотажных и чулочно-носочных изделий (концерн «Текстиль-Контакт» (г. Киев), корпорация «Текстиль-Украина», АО «Украина» (г. Житомир), ЗАО «Любава» (г. Черкассы), компания «Украмтекс» (г. Бровары) и т. д.). Практически все предприятия находятся в частной собственности. Основной особенностью является заинтересованность в выпуске готовых изделий из импортного полотна. Это связано с низким уровнем рентабельности собственного производства полотна.

Рынок трикотажных и чулочно-носочных изделий Казахстана является весьма привлекательным для развития экспорта. Большая часть рынка Казахстана является платежеспособной, а потребительские предпочтения близки к европеизированным. Участие Казахстана в ЕврАзЭС наряду с Беларусью и Россией упрощает выполнение экспортных операций.

На данном этапе рынок Казахстана насыщен трикотажными изделиями импортного происхождения (Китай, Турция, Кыргызстан, Россия). Собственное производство ориентировано на выполнение государственных заказов. В связи с отсутствием производства полотна предприятия производят изделия с использованием импортного материала. На рынке также представлены чулочно-носочные изделия импортного происхождения (Россия, Турция).

Исследование рынка Казахстана выявило неудовлетворенный спрос на изделия из натуральных полотен без использования синтетических добавок. Однако уровень цен должен быть ориентирован на средний потребительский спрос.

В силу малой изученности рынок Армении на первый взгляд представляется для ОАО «8 Марта» достаточно проблемным, но политические события последнего времени, в частности, вступление Армении в Евразийский экономический союз, позволяют смотреть на перспективы сотрудничества с осторожным оптимизмом: в связи с этим можно ожидать, что после снятия таможенных и административных барьеров должен увеличиться товарооборот между нашими странами, вырасти внутренний валовой продукт, реальные доходы населения и занятость, и как следствие, потребительский спрос.

Рынок Молдовы является для предприятия особенно неблагоприятным из-за низкой платежеспособности населения и сильного конкурентного давления по ценовому фактору турецких изделий, а также большого количества мелких частных компаний и индивидуальных предпринимателей, занимающихся пошивом трикотажных изделий по «серым» схемам. И тем не менее, есть ряд позиций в нашем ассортименте, которые

могут быть конкурентоспособны и на этом рынке. Для анализа конкурентной среды была произведена отгрузка пробной партии изделий.

Рынок Латвии, как и других стран Прибалтики, представляет для ОАО «8 Марта» интерес в связи с возможностью «проникновения» наших изделий на территорию Евросоюза. Однако высокий уровень конкуренции на рынке трикотажных изделий требует поиска потребителей новых видов товаров и услуг, например, поставка трикотажных и чулочно-носочных изделий для силовых структур.

Работа с внешнеэкономическими партнерами требует дополнительных затрат времени в связи с большой сменяемостью моделей в плане производства, а также вносимыми контрагентами в процессе работы над заказом, изменениями по упаковке, по количеству и цвету изделий. При этом учитываются факторы спроса и издержек производства каждого изделия, так как различные товары из выпускаемой номенклатуры находятся на разных стадиях жизненного цикла и под различным воздействием конкуренции.

Для расширения зарубежных рынков сбыта трикотажных изделий и полотна предлагается проводить работу по следующим направлениям:

- дальнейшее развитие дилерской сети, в том числе совершенствование деятельности торговых домов (г. Москва, г. Киев), предназначенных для продвижения продукции ОАО «8 Марта» в регионы Российской Федерации, Украины, Казахстана, поиска потребителей новых видов товаров и услуг и для рекламы нашей торговой марки;

- наращивание объемов поставок, активизация маркетинговых исследований зарубежного рынка;

- создание оптовых складов;

- поиск новых заказчиков, покупателей с выездом в зарубежные страны, в регионы Российской Федерации (в том числе в торговые сети, гипермаркеты, магазины розничной торговли);

- формирование максимально привлекательных коммерческих предложений для иностранных покупателей при заключении договоров: совершенствование гибкой системы скидок в зависимости от объема продаж и условий оплаты, предоставление отсрочки платежа постоянным и надежным партнерам;

- совершенствование рекламной деятельности и работ в области дизайна;

- улучшение потребительских свойств ассортимента, повышение его конкурентоспособности, создание и освоение новых видов продукции, соответствующих уровню зарубежных аналогов;

- участие в национальных, международных, специализированных выставках и др.

ДЕЙСТВИЕ КОНКУРЕНТНЫХ СИЛ НА ОТРАСЛЕВОМ РЫНКЕ ОАО «СТАНКОГОМЕЛЬ»

А. Ю. Бердин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Р. А. Лизакова

С начала 2000-х гг. мировой рынок металлообрабатывающих станков характеризовался устойчивой тенденцией роста. Это обусловило расширение производственных мощностей действующими производителями и появление на рынке новых предприятий, в основном из Азиатского региона. При растущем рынке практически

всем предприятиям хватало места на рынке и производители активно не продвигали продукцию на новые сегменты.

Но в настоящий момент времени предложение на рынке металлорежущих станков существенно превышает спрос. В связи с чем резко обострилась конкурентная ситуация практически на всех рынках сбыта, так как производители стремятся восполнить сокращение объемов реализации в своих исконных регионах, за счет освоения новых рынков сбыта. При этом проникновение на новые рынки сопровождается агрессивной сбытовой политикой, которая не всегда даже укладывается в законодательные рамки. В свою очередь, покупатели, которые видят такую агрессивную борьбу на рынке, начинают требовать для себя необоснованных максимальных предпочтений.

Оборудование ОАО «СтанкоГомель» работает на заводах Ford, Daimler-Chrysler, Lockheed, Rexroht, на заводах Трансмашхолдинга (РФ), на предприятиях автотракторной промышленности, военно-промышленного комплекса. За время своего существования заводом были изготовлены десятки тысяч станков различного назначения. Станки с маркой завода работают во многих странах мира. В настоящее время ОАО «СтанкоГомель» является единственным в Республике Беларусь предприятием по выпуску современных вертикальных и горизонтальных обрабатывающих центров.

Наряду с выпуском станков с ЧПУ в настоящее время завод является крупнейшим производителем универсальных консольно-фрезерных станков. Эти станки завод производит с 1993 г. по лицензии немецкой фирмы «HECKERT Chemnitzer Werkzeugmaschinen GmbH». В ассортименте выпускаемой продукции по-прежнему долбежные станки, правильно-отрезные автоматы и специальные станки. Благодаря своим преимуществам, постоянному уровню высокого качества и надежности станки производства ОАО «СтанкоГомель» пользуются спросом во многих регионах мира: Западной Европе, Северной Америке, России, Прибалтике, Ближнем Востоке, Австралии и др. До 70 % продукции поставляется на экспорт.

Стратегия развития предприятия на перспективу основывается на маркетинговой ориентации производства.

Основным стратегическим рынком ОАО «СтанкоГомель» является рынок Республики Беларусь, на котором предприятие является естественным монополистом в производстве сверлильно-фрезерно-расточных обрабатывающих центров с ЧПУ, долбежных станков и правильно-отрезных автоматов, а также занимает около 60 % рынка консольно-фрезерных станков. В данном сегменте ОАО «СтанкоГомель» имеет единственного конкурента – ОАО «Станкозавод «Красный Борец», несколько моделей станков которого имеют сходные технические характеристики и близкий уровень цен.

Модель отраслевой конкуренции М. Портера для ОАО «СтанкоГомель» представим на рис. 1.

Среди внешних рынков предприятия основным является рынок Российской Федерации, куда поставляется более 73 % всей экспортной продукции, прежде всего, консольно-фрезерных станков различных модификаций. ОАО «СтанкоГомель» также работает на рынках других стран СНГ (Украина, Казахстан), Западной Европы (Германия, Латвия, Чехия) и Северной Америки (США).

Разработанная модель относительно конкурентных сил по М. Портеру для ОАО «СтанкоГомель» позволяет нам сделать следующие выводы.

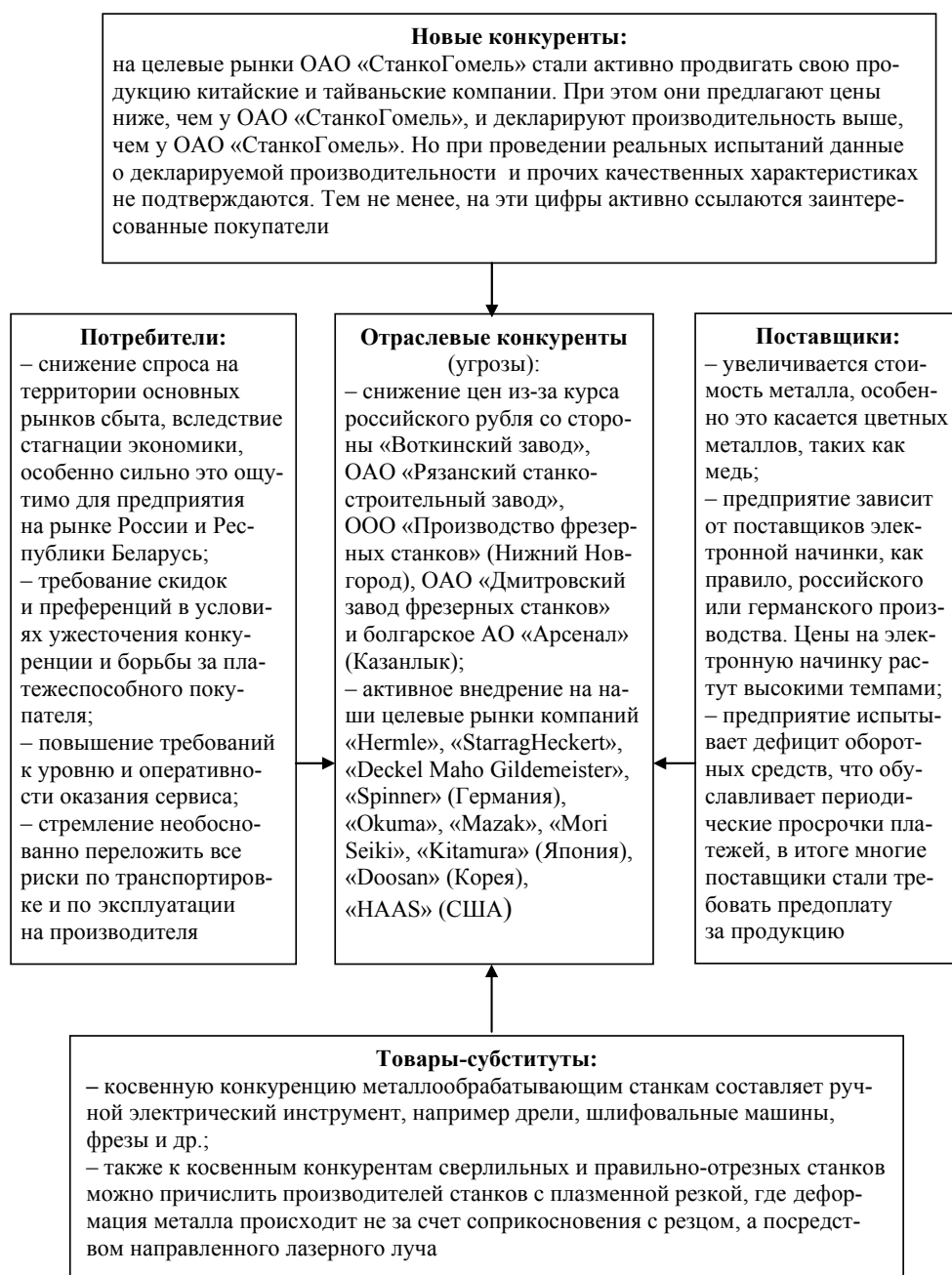


Рис. 1. Модель Портера для ОАО «СтанкоГомель»

Источник: собственная разработка.

Товары-субституты практически не оказывают косвенной конкуренции, так как использование металлообрабатывающих станков предполагает промышленное, а не индивидуальное или кустарное производство. Станки с лазерной плазменной резкой составляют косвенную незначительную конкуренцию только сверлильным станкам и то при условии, что резаться лазером будет металл до 20 мм толщиной. При этом стоимость данных станков выше.

Отраслевые конкуренты также ощутили последствия экономической стагнации, как и ОАО «СтанкоГомель». Станочная продукция, выпускаемая ОАО «СтанкоГомель», не является уникальной, соответственно, в мире имеется несколько десятков

производителей оборудования с аналогичными или сходными техническими характеристиками. В частности, таковыми являются такие известные компании «Hermle», «Heckert», «Deckel Maho Gildemeister», «Spinner» (Германия), «Okuma», «Mazak», «Mori Seiki», «Kitamura» (Япония), «Doosan» (Корея), «HAAS» (США), а также множество компаний из Китая и Тайваня.

Основной продукцией, экспортируемой в страны Европейского Союза, остаются выпускаемые по немецкой лицензии и прошедшие необходимую сертификацию консольно-фрезерные станки. Поставка на европейский рынок станков с ЧПУ в настоящее время невозможна ввиду того, что их стоимость практически такая же, как и стоимость немецких и японских аналогов, а в таких условиях потребитель предпочитает приобретать продукцию более известных производителей.

При этом российские, украинские, европейские, японские и прочие производители конкурируют каждый в своей ценовой и качественной категории. Поэтому основными конкурентами ОАО «СтанкоГомель» являются российские и украинские предприятия. Основная борьба разворачивается на рынке РФ, как наиболее емком и платежеспособном. Конкуренция ведется в основном ценовыми методами, так как качественные характеристики являются условно сопоставимыми.

Также необходимо отметить, что ОАО «СтанкоГомель» зависит от поставок импортного сырья, от металла до электронной начинки. При этом стоимость импортного сырья постоянно увеличивается даже в валюте. При этом нет никакой реальной возможности заменить данные материалы и комплектующие продукцией отечественного производства. Таким образом предприятию необходимо искать оптимальных поставщиков сырья и материалов, искать возможности бартерных поставок и минимизировать затраты на транспортировку и хранение продукции.

Можно констатировать, что на сегодняшний день основными угрозами для деятельности ОАО «СтанкоГомель» является активное проникновение на рынок новых конкурентов, в частности китайских и тайваньских производителей металлообрабатывающих станков и возрастающие требования со стороны покупателей продукции. Покупатели увеличивают требования к специфическим характеристикам продукции с одной стороны, и требуют снижения цен, с другой стороны. Спрос на более дорогое оборудование, несмотря на его качество, очень ограничен. Следовательно, ОАО «СтанкоГомель» необходимо закрепляться на традиционных рынках сбыта, а также использовать в первую очередь неценовые факторы повышения конкуренции продукции в первую очередь с китайскими производителями.

НАПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСТНИЦЫ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ПРИВЕРЖЕННОСТИ НА ТУРИСТИЧЕСКИЕ УСЛУГИ В МОЛОДЕЖНОМ СЕКТОРЕ

Е. Д. Дорофеева

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Р. А. Лизакова

Республика Беларусь – молодое государство с богатой древней историей, расположенное в центре европейского континента на пересечении оживленных транзитных путей (Западная Европа–Россия и Балтия–Причерноморье). Размеры территории Беларуси (207,6 тыс. км) и количество населения (чуть менее 10 млн чел.) характеризуют

ются средними показателями среди государств Европы. Преимущества выгодного географического положения страны используются на протяжении тысячи лет – еще в 11–12 вв. по Днепру, Западной Двине и их притокам проходил один из важнейших торговых путей средневековья «из варяг в греки». Границы Беларуси (с Польшей на западе, Литвой и Латвией на северо-западе и севере, с Россией на востоке и Украиной на юге) с учетом центрального, транзитного расположения республики должны выполнять не барьерные, а контактные функции, в том числе и в развитии туризма. Добрососедские отношения с сопредельными государствами и общность исторического развития служат предпосылками туристского обмена [1].

На сегодняшний день в сфере туризма по Республике Беларусь существует ряд объективных проблем. В традиционных видах туризма область практически не конкурирует с зарубежными странами. В республике отсутствуют горы и море, что так привлекает поклонников традиционного вида туризма. Однако нельзя сказать, что и без них республике нечем похвастаться. По мнению футурологов, индустрия туризма и путешествий к 2020 г. станет одной из главных движущих сил в сфере обслуживания, наряду с телекоммуникациями и информационными технологиями. Ожидается, что поток туристов к 2020 г. превысит 1,5 млрд человек, хотя еще в 1999 г. данный показатель составлял всего 657 млн человек. Такое увеличение числа туристов приведет к росту спроса на туристические услуги и обороту денежных средств в данной индустрии. Поэтому страны во всем мире стремятся завлечь туристов к себе, обеспечивая дополнительные финансовые вливания в экономику страны и создавая новые рабочие места [2]. К сожалению, на данный момент большинство молодежи путешествует за рубежом. Это обуславливается тем, что у молодых людей со временем появляется желание «покорить» Европу, добиться большего за рубежом, нежели в родной стране. Узнать весь мир – это нормальное желание. Но любое государство заинтересовано в формировании патриотических настроений среди молодежи. И путешествие по родному краю, посещение знаковых мест, да и просто походы по родным местам занимают в инструментах формирования патриотической идеологии не последнее место. На потребительское поведение влияет множество факторов (внутренние, внешние, объективные, субъективные, личностные характеристики), но в конечном итоге жизненный цикл клиента может проходить ряд стадий, которые формируют лестницу потребительской приверженности. В данном случае маркетинговая деятельность Национального агентства по туризму Республики Беларусь в общем и отдельных туристических предприятий в частности должна быть направлена на формирование у молодежного сектора лестницы потребительской приверженности (рис. 1).

Лестница потребительской приверженности иллюстрирует процесс развития взаимоотношений потребителя и организации. Лестница имеет 6 ступеней, каждая из которых имеет свое название и значение:

Потенциальные потребители – это все те, кто при каких-либо обстоятельствах могут приобрести услугу, предлагаемую нашей компанией.

Потребители – лица, которые совершили хотя бы одну покупку в нашей компании.

Клиенты – это потребители, которые часто покупают услуги не только у нашей компании, но и у конкурентов.

Сторонники – те лица, которые покупают услуги только у нашей компании.

Пропагандисты – сторонники, которые не просто хранят преданность компании и покупают продукты какой-либо категории фирмы, они еще и активно советуют своему окружению сотрудничать с нашей компанией.

Партнеры – это потребители, которые максимально вовлечены в деятельность компании: они дают обратную связь и помогают совершенствовать предлагаемую услугу компанией, они работают вместе с компанией, также они приводят дополнительных потребителей [3].



Рис. 1. Лестница потребительской приверженности

Для каждой из ступени лестницы потребительской приверженности существует своя стратегия.

Для потенциального потребителя – стратегия привлечения. В данной стратегии турфирма привлекает новых клиентов с помощью разных интересных предложений.

Для потребителя – стратегия вовлечения. Потребители уже знают о нашей компании, чувствительны к цене. Фирма может предложить скидку на повторное использование услуг нашей компании. Цель этой стратегии: перевод потребителей в категорию постоянных клиентов.

Для ступени «клиенты» выбирается стратегия удержания. На этом этапе фирме надо заинтересовать их новыми предложениями. Можно использовать дополнительные услуги.

Для сторонников также подойдет стратегия удержания. Таким образом, мы предоставляем уникальные предложения, к примеру: vip-карта.

Фактически лестница потребительской приверженности – это своеобразная сегментация (критерий – степень лояльности в отношении компании, с которой взаимодействует потребитель), поскольку она позволяет выделить определенные типы потребителей, а затем в зависимости от того, какое положение каждый потребитель занимает на лестнице, найти к нему индивидуальный подход. Считается, что на первых двух ступенях лестницы (потенциальный потребитель и потребитель) компания делает акцент на нахождение новых потребителей.

Рассмотрим, что может предложить государство Республики Беларусь в лице Национального агентства по туризму для формирования у молодежи желания узнать свой край. Для каждой ступени лестницы потребительской приверженности государству есть, что предложить.

Для потребителей, клиентов, сторонников, потенциальных потребителей и пропагандистов предлагаются интересные экскурсии, разные виды туризма. В Республике Беларусь существует множество видов туризма на разный вкус и цвет. Наиболее популярными видами молодежного туризма являются такие виды, как спортивные туры,

познавательные (экскурсионные), развлекательные, экстремальные, санаторные и событийные. Рассмотрим, что предлагает государство для каждого вида туризма.

Экскурсионный потенциал Беларуси составляет около 2 тысяч объектов. Структура экскурсионных объектов Республики Беларусь отличается преобладанием памятников истории (57 %). Значительную долю составляют памятники архитектуры (23 %), археологии и природы (7–8 %) [4].

Существует множество познавательных экскурсионных туров, которые имеют не только местное, но и мировое значение по объектам Всемирного культурного наследия. Наиболее известные среди них: Национальный парк «Беловежская пуша», замковый комплекс «Мир», Дуга Струве (трансграничный объект, 19 топографических точек которого расположены на территории Беларуси).

Экстремальный туризм делится на: водный, наземный, горный и экзотический.

К водным видам туризма относят: дайвинг, вейкбординг, водные лыжи, виндсерфинг, каякинг, рафтинг и сплав. Беларусь – страна рек и озер, соответственно есть места, где можно вволю отжаться любимому виду туризма. На данный момент в нашей стране наиболее развит сплав по рекам. По Щаре, Неману, Птичи, Березине и по Ловати можно совершать туры длительностью 10–14 дней.

Горный вид экстремального туризма представлен горными лыжами и сноубордом. К счастью, в нашей стране существуют горнолыжные курорты, где можно заниматься любимым хобби. Среди них: горнолыжный курорт Силичи, горнолыжный центр «Солнечная долина», спортивно-оздоровительный горнолыжный комплекс «Мозырь».

Санаторные туры – комфорт и качественное лечение. В нашей стране наиболее хорошо развито детское оздоровление. Современные санатории Республики Беларусь оснащены новейшим диагностическим и лечебным оборудованием.

Кроме санаториев в нашей стране также набирают популярность активные виды отдыха – длинные пешие прогулки, рыбалка, летний кемпинг.

Событийный туризм представлен посещениями определенных событий. К ним относятся: «Музыкальные вечера в Мирском замке», праздник средневековой культуры «Рыцарскі фэст. Мсціслаў».

В нашей стране представлено много возможностей для развития молодежного туризма. К сожалению, в работе турфирм молодежный туризм не выделился в самостоятельное направление.

Л и т е р а т у р а

1. О туризме : Закон Респ. Беларусь ; принят Палатой представителей 10 нояб. 1999 г. ; одобр. Советом Респ. 18 нояб. 1999 г.
2. Независимое региональное сообщество РБ. – Режим доступа: <http://gomel-experts.org/obschestvo/5211-al-ternativnye-napravlenija-razvitija-turizma-v-gomel-skoj-oblasti.html>. – Дата доступа: 11.03.2017.
3. Библиотека обучающей и информационной литературы. – Режим доступа: http://www.uhlib.ru/delovaja_literatura/marketing_produktov/p20.php. – Дата доступа: 11.03.2017.
4. Становление экскурсионного дела в Республике Беларусь и его состояние на современном этапе. – Режим доступа: <http://www.km.ru>. – Дата доступа: 11.03.2017.

**ЖУРНАЛЬНАЯ РЕКЛАМА ТОВАРОВ
ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ****М. В. Вальчевская***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Л. Л. Соловьева

Реклама представляет собой неличные формы коммуникации, осуществляемые через совокупность платных средств распространения информации, с четко указанным источником финансирования [1].

Реклама требует больших денег, которые легко растратить впустую, если фирма не сумеет точно сформулировать задачу, примет недостаточно продуманные решения относительно рекламного бюджета, обращения и выбора средств рекламы, не сумеет произвести оценку результатов рекламной деятельности.

Специалист по рекламе, планирующий их использование, должен хорошо знать, какие показатели охвата, частотности и силы воздействия обеспечивает каждое из этих средств.

По показателям объема размещаемой в них рекламы средства эти располагаются в следующем порядке: газеты, телевидение, «директ-мейл», радио, журналы, наружная реклама. Каждому присущи свои специфические преимущества и свои ограничения [2].

Существуют определенные виды рекламы и их применение может быть актуальным в одном конкретном случае и необоснованным в другом. Выбор видов и инструментов рекламы зависит от целей рекламной деятельности, целевой аудитории [3].

Отличия рекламы товаров промышленного назначения от потребительской рекламы:

1. Особенностью рекламы товаров промышленного назначения является то, что основным побудительным стимулом для приобретения этих товаров является не удовлетворение личных потребностей, а стремление повысить эффективность производства и тем самым увеличить прибыльность предприятия.

2. Реклама товаров промышленного назначения отличается от потребительской рекламы полным отсутствием трюков и преувеличений.

3. Реклама товаров промышленного назначения нацелена на узкий круг потребителей. Потому на рекламу промышленных товаров выделяется в процентном соотношении меньший бюджет.

4. Реклама товаров промышленного назначения должна содержать гораздо больше фактических данных о товаре, чем реклама потребительская. При этом приведенные факты должны быть точными, доказуемыми и документально подтвержденными.

5. Реклама товаров промышленного назначения обычно не использует средства массовой информации, такие как: радио, TV, газеты, а рекламные объявления публикуются в специализированных изданиях и отраслевых журналах.

6. В рекламе промышленных товаров можно не применять дорогостоящих приемов, как в рекламе для потребительских товаров. Но это не означает, что промышленная реклама должна быть скучной и бесцветной. При подготовке рекламных объявлений рекламодатель должен установить какие сведения о товаре представляют наибольший интерес для потребителя. В эту информацию обычно включаются следующие сведения:

- 1) характер и отличительные особенности товара;
- 2) преимущество товара перед конкурентами, но конкурентов мы официально не называем;
- 3) пригодность товара для конкурентных целей потребителя;
- 4) опыт других покупателей по использованию данного товара;
- 5) выгоды, которые получит покупатель при использовании товаров;
- 6) надежность поставщика в отношении возможных претензий к товару, соблюдение сроков поставок и в отношении дальнейшего технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время направленность журналов становится все более узкой, благодаря этому в них можно размещать рекламу товаров и услуг самого разного типа и точно подобрать аудиторию для рекламного объявления.

В зависимости от аудитории и направленности журналы можно разделить на следующие виды:

- 1) потребительские – для тех, кто покупает товары для собственного потребления;
- 2) отраслевые/корпоративные/деловые – для бизнесменов, специалистов, представителей различных профессий;
- 3) торговые и технические;
- 4) литературные/школьные.

Также журналы как носители рекламы можно классифицировать по размерам полосы и по периодичности: еженедельные, ежемесячные, двухнедельные, двухмесячные, квартальные или полугодовые.

Журнальная индустрия классифицирует журналы также по географическому охвату, демографическим признакам.

Эффективность рекламы в большой степени зависит от имиджа журнала. Соответственно, в большинстве случаев чем лучше имидж журнала, тем реклама более эффективна.

Также эффективность рекламного сообщения зависит от его расположения в той или иной рубрике. Читаемость рекламы, опубликованной на второй и третьей обложках, выше на 20 %, чем у рекламных объявлений внутри номера.

Но и стоимость размещения рекламы в журналах напрямую зависит от желаемого расположения. Например, правая страница разворота может быть дороже левой, обложки, начиная с четвертой, естественно, стоят дороже, а также специальные места (специальные рубрики или размещение рядом с сенсационным открытием) продаются по более высокой цене.

Основное преимущество рекламы в журналах – это то, что в них она живет дольше.

Есть и недостатки журнальной рекламы, такие как меньшая оперативность передачи информации читательской аудитории, по сравнению с газетой, и достаточно высокая стоимость отдельных изданий.

Вследствие высокого уровня избирательности журналы представляют собой одно из наиболее эффективных средств передачи рекламного обращения. Все типы журналов более эффективны в имиджевой рекламе, чем в стимулирующей.

Экономическая эффективность рекламы – это результат, полученный после применения того или иного рекламного средства или проведения целой кампании. В самой простой интерпретации (и самой распространенной) его можно определить как разницу между дополнительным доходом от реализации продукции как результата рекламы и затрат на нее, к тому же такая разница должна быть положительной.

Экономический эффект от рекламы (ЭР) – это разница между прибылью, полученной от проведения рекламной кампании и затратами на рекламу.

Главное условие этого определения – $\text{ЭР} > 0$. В противном случае реклама станет деньгами, выброшенными на ветер. И даже $\text{ЭР} = 0$ не означает, что рекламная кампания проведена полезно или хотя бы безболезненно. Хоть финансы и вернулись, время, которое в современных условиях может быть дороже денег, потеряно.

Важным показателем воздействия рекламы является уровень реализации, но это не исключает присутствия и других показателей. В частности, это может быть прибыль, которую целесообразно использовать при прогнозировании эффективности рекламных мероприятий, при выборе оптимального варианта затрат на рекламу. Экономическая эффективность рекламы может выражаться как отношение величины реализации к затратам на рекламу, затрат на определенные виды рекламы к величине реализации и т. д.

Разместим рекламу в журнале «Общее машиностроение: станки, двигатели, насосы, оборудование, подъемно-транспортные механизмы, машины буровые, техника бытовая, подшипники». Это специализированный бизнес-справочник. Используется для поиска деловых партнеров, производителей и поставщиков материалов, сырья, оборудования; для изучения рынка и конкурентов в стране и за рубежом в данной отрасли промышленности.

1/1 п представляет собой модуль «А» размером 169×234 мм. Распространение журнала – Россия, СНГ. Тираж – 6 тыс. экз. [4]. Периодичность выхода – 6 раз год.

Стоимость рекламы в журнале (1/1 п) – 18500 рос. р. [4] (по курсу НБ РБ на 01.02.2017 (за 100 р. 3,2224 р.) – 596,1 р.).

Рассчитаем затраты на рекламу:

$$З = 6 \cdot 596,1 = 3,6 \text{ тыс. р.}$$

Для определения оценочной эффективности журнальной рекламы был проведен опрос экспертов. Средний % роста выручки, по мнению экспертов, составит 4,8 %. Мнения экспертов согласованы, так как коэффициент вариации составил 0,08, что меньше нормативного 0,33.

По данным предприятия выручка составляет 4978,4 тыс. р. Рассчитаем изменение выручки:

$$\Delta B = 4978,4 \cdot 0,048 = 238,9 \text{ тыс. р.}$$

Рассчитаем изменение прибыли по формуле

$$\Delta \Pi = \frac{\Delta B \cdot R \%}{100 + R \%};$$

$$\Delta \Pi = \frac{238,9 \cdot 16,8}{100 + 16,8} = 34,4 \text{ тыс. р.}$$

Следовательно, экономический эффект от рекламы в журнале составит:

$$\text{ЭР} = 34,4 - 3,6 = 30,8 \text{ тыс. р.}$$

Эффективность (Эф) составит:

$$\text{Эф} = 34,4 / 3,6 = 9,6.$$

Таким образом, разместив рекламу в журнале за рубежом (в нашем случае это Россия и СНГ), получим эффективность в 9,6, что говорит о хорошем результате. Следовательно, можно использовать данный метод, который даст нам расширение рынков сбыта и увеличение прибыли на предприятии.

Литература

1. Котлер, Ф. Основы маркетинга / Ф. Котлер ; пер. с англ. В. Б. Боброва ; общ. ред. и вступ. ст. Е. М. Пеньковой. – М. : Прогресс, 1991.
2. Котлер, Ф. Основы маркетинга. Краткий курс / Ф. Котлер ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2007. – 656 с.
3. Рыбаков, Р. А. Основы функционирования современного маркетинга в инфраструктуре развлечений / Р. А. Рыбаков // Рос. предпринимательство. – 2009. – № 4. – Вып. 2 (133). – С. 84.
4. Общее машиностроение: станки, двигатели, насосы, оборудование, подъемно-транспортные механизмы, машины буровые, техника бытовая, подшипники. – Режим доступа: <http://prosmi.ru/catalog/3261/>. – Дата доступа: 05.05.2016.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ МАКРОСРЕДЫ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА КУЛЬТУРНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ ТУРИЗМ

В. А. Санец

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Р. А. Лизакова

Развитие культурно-познавательного туризма является приоритетным направлением социально-экономического развития и туризма в Республике Беларусь.

Туристский культурно-познавательный потенциал Беларуси базируется на многообразии, красоте природы страны, уникальности историко-культурного наследия и состоит из более чем 15 тысяч объектов, имеющих историческую, культурную, архитектурную значимость, памятных мест, связанных с именами выдающихся деятелей мировой истории и культуры.

Кроме того, Беларусь имеет выгодное географическое положение. Сегодня, как и много веков назад, транзитное значение Беларуси для передвижения людей, капитала, товаров и услуг на путях между Западной Европой и Россией, Скандинавией и Азией постоянно возрастает.

Беларусь имеет исключительно богатый природный и историко-культурный потенциал, благоприятный для международного туризма. Здесь относительно мягкий климат, в благоприятной пропорции соотносятся в ландшафтах пойменные низменности и моренные гряды, открытые и залесенные пространства, обилие рек и озер, отсутствуют обширные горнорудные и промышленные районы. В городах и сельской местности находится 1834 памятника археологии, 1597 – архитектуры, 1131 – истории, 122 – искусства, около 100 центров народных промыслов и ремесел, десятки локальных районов традиционного ткачества и вышивки, гончарства, плетения, шорного промысла и т. д. Существуют селения и города, представляющие собою комплексные заповедники, где сохранившаяся историческая среда соседствует с традиционно-бытовым укладом жизни.

Беларусь имеет ряд преимуществ по сравнению с другими странами, среди которых можно назвать следующие: близость к странам Западной Европы и Скандинавии, которые формируют масштабные туристопотоки за рубеж; соседство со странами Балтии, России, Польши, что является серьезным ресурсом для развития приграничного туризма; древняя и богатая история, самобытная культура; богатый природный потенциал.

В рамках реализации мероприятий Национальной программы развития туризма, в частности культурно-познавательного туризма, в Республике Беларусь проводится работа по развитию инфраструктуры туризма на территориях 27 туристических зон. Выполнены работы на 471 объекте туристической инфраструктуры, введено в строй 290 объектов, 59 из которых обустроены на территории малых городов и средних поселений. В Беларуси на государственном уровне организована разработка новых туристических маршрутов к объектам культурно-познавательного показа. В настоящее время в республике функционирует 677 туристско-экскурсионных маршрутов. В Беларуси создана база для обслуживания въездного культурно-познавательного туризма, которая в достаточной степени развита, но требует значительных затрат на ее обновление, совершенствование и развитие.

На культурно-познавательный туризм оказывают влияние множество факторов. Численность населения является важным фактором, так как она влияет на количество потенциальных потребителей туристических услуг. В данный момент численность населения сокращается, что является негативным фактором, так как сокращение численности населения приводит к сокращению потенциальных потребителей.

Состояние экономики в стране влияет на стоимость ресурсов и способность потребителей покупать товары и услуги. Мы можем наблюдать увеличение заработной платы работников, что говорит о том, что население обладает с каждым годом все большей и большей платежеспособностью.

Также следует упомянуть о связи между политикой и туризмом. Она заключается в том, что государство управляет туризмом и туристическая активность требует вмешательства государства. Государство вмешивается для того, чтобы обеспечить и расширить материальное благосостояние значительных слоев населения. В этом случае туризм подчиняется государственному регулированию и управлению, а государство формирует политику во всей сфере. На туристическую деятельность оказывают влияние различные законы Республики Беларусь (Закон Республики Беларусь от 25 ноября 1999 г. № 326-З «О туризме», Постановление Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств № 27-15 «О модельном законе «О туристской деятельности»). В Республике Беларусь сложилась и постоянно действует и совершенствуется своего рода система организационно-управленческих мероприятий по развитию туризма.

Главная роль принадлежит Министерству спорта и туризма, которое призвано создавать условия для вовлечения в активные занятия туризмом. Министерство осуществляет свою деятельность во взаимодействии с другими министерствами и иными центральными органами управления, общественными физкультурно-оздоровительными и спортивными объединениями, местными исполнительными и распорядительными органами.

Рассмотрим ряд факторов, влияющих на культурно-познавательный туризм, представленных в таблице.

Факторы макросреды

Показатель	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Численность населения (на конец года), тыс. чел.	9697	9630	9579	9542	9514	9500	9481	9465	9464	9481
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата работников, тыс. р.	463,7	582	694	868,2	981,6	1217,3	1899,8	3676,1	5061,4	6052,4
Недвижимые объекты наследия	4684	4694	4592	4662	4779	5257	5278	5379	5373	5373
Клубные учреждения	380	450	789	1050	1653	987	868	2945	3010	3054
Библиотеки, тыс. томов книжного фонда	8010	7850	6540	5230	5020	4350	3920	3560	3502	3272
Число театров	28	27	27	27	27	27	27	28	28	28
Число мероприятий	7602	7569	7896	8123	8194	9013	8230	8673	8604	8700
Число музеев	139	145	149	152	155	158	160	162	162	157
Число посещений музеев (за год), тыс.	3976	4023	41876	43987	4586	4989	5299	5724	5731	6089
Число выставок, ед.	1569	1789	1801	1876	1963	2374	2493	3510	3513	2817
Численность туристов Республики Беларусь, выехавших за рубеж, чел.	572398	535049	410520	380349	316322	414735	319795	492846	708376	740514
Численность туристов, отправленных по маршрутам тура в пределах Республики Беларусь, чел.	49584	56320	57812	58650	51049	78981	76713	61048	76246	56213

Источник: Национальный статистический комитет Республики Беларусь.

Нами был проведен корреляционно-регрессионный анализ влияния факторов на результативность деятельности предприятия. В окончательном виде было выяснено, что на результативность деятельности предприятия оказывают влияние два основных фактора: недвижимые объекты наследия (X6); экспорт услуг (X9).

В окончательном виде наше уравнение регрессии (для уровня значимости 0,05) следует записать так: $\hat{y} = -10864,99 - 1,26X6 + 45,15X9$.

Литература

1. Развитие туризма в Республике Беларусь. – Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat-183871.html>. – Дата доступа: 19.02.2017.
2. Основные направления развития туризма в Республике Беларусь. – Режим доступа: http://tourlib.net/statti_tourism/tyagnilenko.htm. – Дата доступа: 20.02.2017.
3. Генеральная схема размещения зон и объектов оздоровления, туризма и отдыха Республики Беларусь на 2016–2020 годы. – Режим доступа: www.government.by/upload/docs/file8b433cedccb188bf.PDF. – Дата доступа: 20.02.2017.

**АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ СТРАНЫ****А. В. Домород***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. И. Короткевич

Качество жизни населения напрямую связано с его продолжительностью жизни. Одним из самых известных экономических методов оценки характеристики качества жизни является индекс человеческого потенциала, который включает в себя три подиндекса: ожидаемой продолжительности жизни, уровня образования и валового внутреннего продукта. В настоящее время Республика Беларусь входит в число стран с высоким уровнем развития. Однако если проследить динамику трех подиндексов с 1990 г., то можно отметить, что индекс ожидаемой продолжительности жизни ниже индекса ВВП и индекса уровня образования. В связи с этим целью исследования является выявление основных количественных факторов, влияющих на продолжительность жизни населения Республики Беларусь, так как при росте индекса продолжительности жизни возрастет и индекс развития человеческого потенциала, т. е. и качество жизни населения страны.

В ходе исследования были выделены следующие группы показателей:

- 1) свойства воспроизводства и физического здоровья;
- 2) способность образовывать и сохранять семьи;
- 3) уровень образования, культуры и воспитания;
- 4) уровень квалификации и науки;
- 5) реальные доходы и расходы;
- 6) обеспеченность жильем и собственностью;
- 7) обеспеченность мощностями инфраструктуры общества;
- 8) характеристика самодостаточности развития;
- 9) условия труда;
- 10) физическая и имущественная безопасность;
- 11) характеристика социальной патологии;
- 12) качество экологической ниши.

Далее был проведен корреляционный анализ влияния 100 факторов на ожидаемую продолжительность жизни всего населения Беларуси. Анализ в ходе исследования проводился за последние 16 лет, т. е. с 2000 по 2015 гг. Значимыми явились только те факторы, значение t -статистики которых по модулю было больше t -критического. В данном случае критическое значение t -критерия Стьюдента при $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 15$ равно 2,131. Факторы с весьма высокой и высокой теснотой связи, т. е. значение коэффициента корреляции по модулю больше 0,7, приведены в таблице. Следует отметить, что факторы с высокой теснотой связи приведены в тех группах, где нет факторов с весьма высокой теснотой связи.

Наиболее значимые факторы, влияющие на ожидаемую продолжительность жизни при рождении

Фактор	Коэффициент корреляции Пирсона	Теснота связи и направление влияния
1. Свойства воспроизводства и физического здоровья		
Родилось на 1000 человек населения	0,946546989	Весьма высокая, прямая
Естественный прирост (+), убыль (-) на 1000 человек населения	0,982548724	Весьма высокая, прямая
2. Способность образовывать и сохранять семьи		
Число браков на 1000 человек населения	0,715890118	Высокая, прямая
3. Уровень образования, культуры и воспитания		
Число посещений музеев, тыс. ед.	0,940874063	Весьма высокая, прямая
Издано журналов на 1000 человек населения, экз.	0,910224274	Весьма высокая, прямая
4. Уровень квалификации и науки		
Число организаций, выполняющих научные исследования и разработки, ед.	0,780810754	Высокая, прямая
5. Реальные доходы и расходы		
Денежные доходы в расчете на душу населения, тыс. р. в месяц	0,947664663	Весьма высокая, прямая
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата, р.	0,946919317	Весьма высокая, прямая
Денежные доходы населения, млрд р.	0,948436399	Весьма высокая, прямая
6. Обеспеченность жильем и собственностью		
Жилищный фонд, млн м ²	0,952242712	Весьма высокая, прямая
Обеспеченность населения жильем, м ² на одного жителя	0,942189474	Весьма высокая, прямая
Легковые автомобили в личной собственности граждан, тыс. шт.	0,922840437	Весьма высокая, прямая
Грузовые автомобильные транспортные средства в личной собственности граждан, шт.	0,905102003	Весьма высокая, прямая
7. Обеспеченность мощностями инфраструктуры общества		
Число клубных учреждений	-0,942419089	Весьма высокая, обратная
Число гостиниц и аналогичных средств размещения, ед.	0,944256994	Весьма высокая, прямая
Число коллективных средств размещения	0,956750043	Весьма высокая, прямая
Число санаторно-курортных и оздоровительных организаций, ед.	0,951396492	Весьма высокая, прямая
Розничные торговые объекты (на конец года), тыс. ед.	0,950719167	Весьма высокая, прямая
Количество абонентов сети Интернет, тыс.	0,957603765	Весьма высокая, прямая

Окончание

Фактор	Коэффициент корреляции Пирсона	Теснота связи и направление влияния
Обеспеченность населения квартирными телефонными аппаратами, подключенными к сети электросвязи общего пользования на 100 человек населения, шт.	0,911245126	Весьма высокая, прямая
8. Характеристика самодостаточности развития (в промышленности и сельскохозяйственном производстве)		
Объем продукции промышленного производства, млрд р.	0,94987942	Весьма высокая, прямая
Продукция сельского хозяйства, млрд р.	0,957837881	Весьма высокая, прямая
Инвестиции в основной капитал, млрд р.	0,949111986	Весьма высокая, прямая
ВВП (ВНП), млрд р.	0,953174797	Весьма высокая, прямая
ВВП (ВНП), млрд долл. США по ППС	0,942016566	Весьма высокая, прямая
9. Условия труда		
Численность потерпевших при несчастном случае на производстве со смертельным исходом на 1000 работающих, чел.	-0,978226836	Весьма высокая, обратная
10. Физическая и имущественная безопасность		
Число зарегистрированных преступлений	-0,776946552	Высокая, обратная
Выявлено лиц, совершивших преступления, тыс. чел.	-0,84497287	Высокая, обратная
11. Характеристика социальной патологии		
Коэффициент смертности по причине самоубийств	-0,963006556	Весьма высокая, обратная

Источник: собственная разработка.

Из таблицы видно, что практически в каждой группе показателей есть факторы, оказывающие весьма высокое и высокое воздействие на ожидаемую продолжительность жизни при рождении населения страны. Факторы качества экологической ниши оказывают среднее влияние на результирующий показатель, однако это можно сказать лишь о количественных факторах, так как качественные факторы не были учтены в данном исследовании.

Проведя анализ количественных факторов, видно, что факторы воспроизводства населения, уровня культуры, реальных доходов, обеспеченности жильем и собственностью, мощностями инфраструктуры общества, а также развитостью промышленности и сельского хозяйства оказывают весьма высокое влияние на ожидаемую продолжительность жизни, т. е. с увеличением значения данных факторов увеличивается и результирующий показатель. Также можно проследить, что при уменьшении смертельных исходов на производстве по причине несчастных случаев, числа преступлений и смертности по причине самоубийств увеличивается продолжительность жизни.

Также был проведен анализ влияния факторов по гендерному признаку. В ходе анализа было выявлено, что на увеличение продолжительности жизни женщин в большей степени оказывают влияние рост таких факторов как ВВП (ВНП) в млрд долл. США, числа журналов и других периодических изданий, соотношения среднемесячной заработной платы и минимального потребительского бюджета, числа построенных квартир и ввод в эксплуатацию жилых домов, числа музеев и амбулаторно-поликлинических организаций, числа учреждений среднего специального образования и общественного питания, количества абонентов сотовой подвижной электросвязи, и уменьшение величины численности населения страны, коэффициента младенческой смертности, уровня зарегистрированной безработицы и численности безработных, численности работников с профессиональными заболеваниями и количества несчастных случаев на производстве. По сравнению с женщинами на увеличение продолжительности жизни мужчин в большей степени оказывает влияние только рост денежных доходов населения и уменьшение смертности населения, количества зарегистрированных хулиганств, числа зарегистрированных преступлений и лиц, совершивших преступления. Таким образом, можно сделать вывод о том, что на продолжительность жизни женщин оказывают влияние различные факторы, в то время как на ожидаемую продолжительность жизни мужчин лишь рост доходов и снижение уровня преступности.

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПОРТИВНОГО ТУРИЗМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Д. А. Шандрак

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Л. Л. Соловьева

Спортивный туризм можно определить как вид спорта, в основе которого лежат соревнования на маршрутах, включающих преодоление категорированных препятствий в природной среде (перевалов, вершин (в горном туризме), порогов (в водном туризме), каньонов, пещер и пр.), и на дистанциях, проложенных в природной среде и на искусственном рельефе [1].

Целью данного научного исследования является выявление возможности развития спортивного вида туризма в Республике Беларусь, нахождение приемлемых мероприятий и перспектив развития для данной отрасли туризма.

Различают два направления спортивного туризма: пассивный и активный.

Пассивный спортивный туризм является частью событийного туризма. Спортивные соревнования и чемпионаты, которые собирают огромное количество людей, которые приехали из других стран именно с целью посетить конкретно эти соревнования, – это и есть мероприятие пассивного спортивного туризма.

В Республике Беларусь проводятся соревнования, которые способны собрать достаточное количество туристов, поэтому можно сказать, что пассивный спортивный туризм в нашей стране не стоит на месте. Примером служит Чемпионат мира по хоккею с шайбой, который проводился в Беларуси на двух главных аренах страны: «Минск-Арена» и «Чижовка-Арена». Чемпионат посетили 643434 человека [2].

С активным туризмом будет интереснее. По видам передвижения выделяются:

– автотуризм. Популярный вид отдыха, путешествие с использованием автомобильного транспорта по основной части маршрута [1]. Путешествуя на собственном автомобиле или собираясь небольшой группой из нескольких автомобилей,

туристы чаще всего не прибегают к услугам организаторов туризма. Такой вид туризма предпочитают 21 % туристов, которые выбирают спортивный туризм;

– велосипедный туризм. Популярный вид активного отдыха, имеющий множество разновидностей: от небольших прогулок и экскурсий до сложных велосипедных путешествий. Наряду с обычными путешествиями на велосипедах, проходящих по несложным безопасным маршрутам, пользуются успехом также экстремальные трассы. Такие трассы проходят, как правило, в труднодоступных местностях, таких как горы или пустыни. В настоящее время существует три основных типа велосипедов: дорожные, кроссовые и горные [1]. Велосипедный туризм предпочитают 3 % туристов;

– водный туризм. Это путешествия в пределах страны лиц, не проживающих в ней постоянно, с туристскими целями без занятия оплачиваемой деятельностью из местного источника. К этому виду туризма относятся различные виды водного спорта. Рафтинг – это сплав по порожистым рекам на надувных судах [1]. Рафт представляет собой надувную лодку-плот для сплава по рекам. Рафтинг получил широкое распространение практически всюду, где есть возможность сплава по рекам. Профессиональный рафтинг предъявляет особые требования к возрасту – не моложе 18 лет и не старше 50–60 лет, необходимо крепкое здоровье. Дайвинг – один из самых сложных и опасных видов спорта и туризма [1]. В настоящее время только в Европе любителей подводного плавания насчитывается свыше 3 млн человек. Водный туризм выбирают 9 % туристов;

– конный туризм. Форма активного отдыха, вид спортивного туризма. Осуществляется в виде конных маршрутов, проходящих по заповедникам или национальным паркам. Конный туризм пользуется популярностью у любителей экологического туризма, поскольку позволяет туристам побывать в отдаленных от транспортных путей местах, обычно очень красивых, с первозданной природой. 7 % туристов выбирают конный туризм в качестве спортивного туризма;

– лыжный туризм. К нему относятся и оздоровительные туры выходного дня, хождение на лыжах по равнинной и пересеченной местности, совершение коротких или многодневных переходов. Несмотря на относительную безопасность передвижения на лыжах, длительные многодневные походы по суровым безлюдным регионам – достаточно экстремальный и спортивный вид туризма [2]. Горные лыжи – один из традиционных и очень популярных во всем мире видов туризма. По степени сложности спуски на горных лыжах разделяются на несколько категорий. Каждый горнолыжник может выбирать тот отрезок трассы, который соответствует его классу и опыту. Лыжный туризм – самый распространенный среди туристов – 30 %;

– пешеходный туризм (треккинг). Пешие походы практически не требуют специальной подготовки и оборудования. Одновременно они дают возможность получить необходимые физические нагрузки, а также испытать положительную эмоциональную разрядку. Несмотря на качественное и количественное развитие многих видов транспорта, пешеходные маршруты не только не утрачивают своей популярности, но и постоянно являются одним из самых предпочтительных видов отдыха [2]. 14 % туристов выбирают этот вид спортивного туризма;

– горный туризм. Походы, предусматривающие прохождение маршрутов пешком по горной местности, преодоление перевалов выше 3000–3500 м, прохождение скальных участков, крутых склонов, ледников, снежников, горных рек. Для горного туризма используется специальное снаряжение: ледорубы, высокогорные ботинки, «кошки», скальные и ледовые крючья, карабины, веревки и т. д. Горный туризм привлекает 10 % туристов, которые выбирают активный туризм;

– спелеотуризм – исследование пещер, шахт, разломов или пропастей – один из самых опасных и тяжелых видов деятельности. Спелеотуризм может быть самым различным по направленности. Экскурсионно-познавательные туры проводятся по специально обустроенным для экскурсионного показа пещерам. Самый нераспространенный вид туризма – всего 2 % туристов выбирают его;

– альпинизм. Сегодня альпинизм представляет собой целую индустрию, которая равномерно развивается и популяризируется. Как правило, для восхождения принято выбирать лето, когда погода позволяет с минимальными потерями добраться до намеченной вершины. 4 % туристов выбирают альпинизм.

Основными видами спортивных туров, реализуемых турфирмами Республики Беларусь, являются:

– туры без спортивных походов, включающие в программу отдыха в туркомплексе различные виды спортивно-оздоровительных и интенсивных спортивных занятий. В настоящее время таким турам уделяется все большее внимание туроператоров. Полноценный отдых и досуг в современных туркомплексах с ограниченной программой спортивно-оздоровительных занятий создают в непростой жизни современного человека необходимый баланс и гармонию, помогают получить новый заряд энергии, формируют потребность в здоровом образе жизни;

– туры, имеющие в своей программе некатегорийные спортивные (любительские) походы. Проведение данного вида туров подразделяется на три этапа: предпоходная подготовка в туркомплексе; спортивный поход; послепоходный отдых в туркомплексе. Предпоходная подготовка и инструктаж в туркомплексе чередуются со спортивными играми, дискотеками и другими формами досуга;

– туры для туристов-спортсменов с использованием походов различной категории сложности. Туры для спортсменов, как правило, связаны с проведением чемпионатов различных статусов. Целью проведения данных спортивных мероприятий является оформление спортивных разрядов, а также присвоение званий [1].

В Республике Беларусь можно развивать спортивный туризм, так как страна располагает для этого ресурсами: реки Днепр, Березина и др., горнолыжные центры, развивается сеть велосипедных дорожек, существуют конные базы и т. д.

Для автотуризма ресурсы у нас есть – это дороги, а значит, можно путешествовать на своем автомобиле по нашей стране. То же самое можно сказать о велосипедном туризме.

С водным туризмом будут определены трудности, рафтингом и дайвингом в нашей республике заниматься будет проблематично. Порожистых рек для рафтинга у нас нет, и для дайвинга наши водоемы не очень приемлемы. Можно устраивать прогулку на прогулочных катерах, а также предлагать туристам покататься на катамаранах и лодках. Возможно организация сплава по рекам.

Для конного туризма также есть все ресурсы, существуют конные базы, где можно заказать прогулку на лошадях.

Для таких видов туризма как горный и лыжный перспектив не так много, потому что Беларусь преимущественно равнинная страна, но построены такие горнолыжные комплексы, как Республиканский горнолыжный центр «Силичи», горнолыжный спортивно-оздоровительный комплекс «Логойск», горнолыжный центр «Солнечная долина», парк активного отдыха «Якутские горы», спортивно-оздоровительный горнолыжный комплекс «Мозырь» и Республиканский центр олимпийской подготовки по зимним видам спорта «Раубичи».

Пешеходный туризм. Никаких препятствий для пешеходного туризма, а в Беларуси есть на что посмотреть: красивая природа, чистый воздух, леса и озера.

Для альпинизма также особых перспектив нет, но строятся специальные сооружения, создаются клубы альпинистов, где можно заниматься карабканьем и у себя на родине.

Что касается спелеотуризма, у нас есть солевые пещеры, в которых предлагают прилечь на кушетку и подышать, что очень полезно для людей с заболеваниями легких и просто для профилактики, но самостоятельно спускаться в пещеры у нас не представляется возможным.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что спортивный туризм в Беларуси развивать можно и нужно. Можно – потому что ресурсы для этого есть, нужно – потому что спорт стал неотъемлемой частью жизни как молодежи, так и старшего поколения.

Литература

1. Изотова, М. А. Инновации в социокультурном бизнесе и туризме / М. А. Изотова, Ю. А. Матюхина. – М. : Айрис-пресс, 2006. – 223 с.
2. Википедия – свободная энциклопедия / Википедия – свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>. – Дата доступа: 29.03.2017.

АНАЛИЗ ЦЕНОВОЙ ПОЛИТИКИ СОБЫТИЙНОГО ТУРИЗМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

М. В. Машурова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. А. Фукова

Цена – экономическое понятие, которое означает «количество денег», за которое покупатель готов купить, а продавец согласен продать единицу товара. Перед всеми коммерческими и некоммерческими организациями встает задача назначения цены за свои товары и услуги. Являясь всего лишь одной из составляющих маркетинговых средств, цена выполняет, тем не менее, исключительно важную функцию, которая состоит в получении выручки от реализации.

Ценообразование в туризме – это процесс установления цены на конкретный туристский продукт или услугу, где цена – это денежное выражение стоимости туристских услуг. Уровень цены определяет величину прибыли, конкурентоспособность и финансовую устойчивость компании.

Ценообразование в туристской отрасли имеет несколько особенностей:

1. Устойчивость спроса на туристские услуги зависит от индивидуальных особенностей потребителя, поэтому при установлении цен на услуги следует учитывать следующий психологический момент: цена не должна вызывать отрицательных эмоций у потенциальных покупателей.

2. Процессы производства, реализации и потребления услуг совпадают во времени, поэтому в отрасли туризма применяется сезонная дифференциация цен; спрос и соответственно цены на услуги носят ярко выраженный сезонный характер.

3. Туристские услуги реализуются как на внутреннем, так и на внешнем рынке, поэтому при оценке качества и стандартизации принимаются во внимание международные требования.

4. Цены на продукт должны включать потребительские стоимости, которые не принимают непосредственно товарную форму (например, исторические памятники,

природные заповедники) или не являются продуктами труда, а созданы природой (водопады, пещеры).

Рассмотрим ценообразование в туризме на примере событийного туризма.

Событийный туризм – это вид туризма, направленный на посещение местности в определенное время. Связанный с редкими природными явлениями, а также с разнообразными значимыми общественными событиями, привлекающими своей уникальностью, неповторимостью большие массы туристов из зарубежных стран.

В событийном туризме можно выделить несколько направлений по тематике события:

- а) национальные фестивали и праздники;
- б) театрализованные шоу;
- в) фестивали кино и театра;
- г) гастрономические фестивали;
- д) фестивали и выставки цветов;
- е) модные показы;
- ж) аукционы;
- з) фестивали музыки и музыкальные конкурсы;
- и) спортивные события;
- к) международные технические салоны.

Для примера возьмем фестиваль «Славянский Базар» в Витебске. В 2016 г. цены на билеты остались практически на уровне прошлого года. Самый дорогой квиток обошелся гостю фестиваля в 195 BYN – 2, 3 сектора (концерт открытия).

А самый дешевый – в 12 BYN – 5, 8, 10 сектора (на второй день конкурса исполнителей эстрадной песни «Витебск–2016»).

Для наглядности размещения секторов на рис. 1 изображена схема зала амфитеатра в Витебске.



Рис. 1. Схема зала амфитеатра в Витебске

Рассмотрим для сравнения зарубежный фестиваль «Праздник Песни» в Литве.

Цены на фестиваль «Праздник Песни» в Литве:

3 июля 22:00 – Ensamblės. Вечер в парке Kalnai (9–35 евро).

4 июля 22:00 – Парад балтийских костюмов «Во дворе Дворца Великого Княжества Литовского» (23–35 евро).

5 июля 17:00 – Wind в Kalnai Парк (6–25 евро).

5 июля 21:00 – День Танца (6–45 евро).

6 июля 18:00 – День песни в парке Vingis (только сиденья 6–23 евро, стенд – бесплатно).

Средняя цена билетов составила 25,5 евро.

Еще одним фестивалем, представленным на рынке белорусских мероприятий, является фестиваль «Камяніцы».

Взрослые – 10 BYN, студенты – 7 BYN, школьники – 5 BYN.

Дошкольники и зрители в полных национальных костюмах (от обуви до головного убора) проходят бесплатно.

Для сравнения рассмотрим Фестиваль живой музыки «МОСТ».

Стоимость билетов на весну 2016 г.: танцпол 2 июля – 25 BYN, танцпол 3 июля – 25 BYN, танцпол на два дня (2 и 3 июля) – 40 BYN, фан 2 июля – 40 BYN, фан 3 июля – 40 BYN, фан на два дня (2 и 3 июля) – 65 BYN.

Конкурентом фестиваля живой музыки «МОСТ» будет являться зарубежный фестиваль Positivus Festival в Латвии.

Стоимость посещения данного фестиваля будет зависеть от кемпинга. При покупке билета на 3 дня с кемпингом цена составит 87 евро. За 3 дня без кемпинга стоимость составит 50 евро. В среднем – 68,5 евро.

Спортивные соревнования также пользуются популярностью у местных жителей и туристов. Рассмотрим Чемпионат мира по хоккею, прошедший на территории Беларуси в 2014 г.

Стоимость на абонементы, включающие посещение всех матчей на одной из арен, зависела от сектора. Минимальная стоимость соответствующего абонемента на «Минск-Арену» (34 матча) составила 374 BYN, а максимальная достигла 2448 BYN. Для «Чижовки-Арены» (30 матчей) ценовой минимум на входной абонемент на все матчи – 180 BYN, максимум – 1290 BYN.

Для сравнения рассмотрим стоимость билетов на матчи КХЛ в Республике Беларусь, к примеру, стоимость матча «Динамо-Минск»–«ЦСК», который проходил 7 января 2017 г. на стадионе «Минск-Арена». Цена варьируется от 3 BYN до 60 BYN в зависимости от удобства расположения и удаленности от арены.

Футбольные матчи также пользуются популярностью. Рассмотрим для примера матч «Беларусь»–«Франция», прошедшего 6 сентября 2016 г. на стадионе «Борисов-Арена». Стоимость билетов была в диапазоне от 7 BYN до 14 BYN.

Осенью в Беларуси проходит международный кинофестиваль «Лістапад». В 2016 г. цена самых дорогих билетов составила 10 BYN. В такую сумму обошлись главные показы открытия и закрытия. Вход на вечерние показы, в праздничные и выходные дни – 2,5 BYN. Просмотр фильмов днем и в будни обойдется в 2 BYN.

Следует отметить, что вход на некоторые фестивали и праздники может быть бесплатным. Платить придется только при желании купить памятный сувенир или что-либо еще.

Сравним стоимость билетов на фестивали в зависимости от средней заработной платы населения между Беларусью, Литвой и Латвией.

Для этого воспользуемся формулой

$$\text{Пр} = \frac{\text{Ст} \cdot 100 \%}{\text{Зп}}, \quad (1)$$

где Пр – процент стоимости билета от средней заработной платы населения; Ст – средняя стоимость билета; Зп – средняя заработная плата населения.

Средняя цена билета на фестиваль «Славянский базар» составляет 103,5 BYN, а средняя зарплата 720 BYN. Средняя цена билета на «Праздник песни» составляет 24 евро, а средняя зарплата 601 евро. А цена на фестиваль Positivus в среднем составила 68 евро, средняя зарплата – 623 евро.

Рассчитаем данный показатель для 3-х стран.
Республика Беларусь:

$$\text{Пр} = \frac{103,5 \cdot 100 \%}{720} = 14,4 \%$$

Литва:

$$\text{Пр} = \frac{24 \cdot 100 \%}{601} = 4 \%$$

Латвия:

$$\text{Пр} = \frac{68 \cdot 100 \%}{623} = 11 \%$$

Как видно из расчетов, максимальный процент стоимости билета от средней заработной платы населения в Беларуси и он составляет 14,4 %. Минимальный – в Литве и он составляет 4 %. Следовательно, для населения нашей страны фестивали обходятся дороже, чем для населения других стран их фестивали.

Таким образом, можно сделать вывод, что в Беларуси проводится множество фестивалей и спортивных мероприятий, из которых каждый сможет выбрать что-то интересное для себя. Ценовой диапазон также велик: начиная со свободного входа, заканчивая дорогостоящими событиями. На масштабные мероприятия, проводимые в Республике Беларусь, цены для местных жителей довольно высокие, однако для иностранцев вполне приемлемы.

ОСОБЕННОСТИ МАРКЕТИНГА В РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТУРИЗМА

О. А. Богдановская

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. А. Фукова

На первый взгляд может показаться, что организация туров, как одна из функций маркетинга в туризме, это однообразная работа, связанная с комплектацией общих мероприятий для всех видов туризма. Однако это далеко не так. Маркетинг в туризме – многогранная сфера деятельности. Для того чтобы учесть особенности каждого вида туризма, необходимо исследовать эту область и подобрать мероприятия максимально близкие именно к этому виду и подходящие именно этому сегменту рынка.

Для начала выделим основные виды туризма:

– экскурсионный туризм – путешествие в познавательных целях. Это одна из наиболее распространенных форм туризма;

– рекреационный туризм – путешествие для отдыха и лечения. Этот вид туризма является весьма распространенным во всем мире. В некоторых странах он выделяется в самостоятельную отрасль экономики и функционирует параллельно с другими видами туризма;

– деловой туризм – поездки, связанные с выполнением профессиональных обязанностей;

– этнический туризм – поездки для свидания с родственниками. Туристские агентства помогают с оформлением транспортных билетов, загранпаспортов, виз и т. д.;

– религиозный туризм – путешествие, имеющее целью выполнение каких-либо религиозных процедур, миссий;

– приключенческий (экстремальный) туризм – туризм, связанный с физическими нагрузками, а иногда с опасностью для жизни.

Все эти виды туризма тесно переплетаются между собой, и их зачастую трудно выделить в чистом виде. Однако каждый из этих видов имеет ряд определенных особенностей, которые мы сейчас разберем.

1. Экскурсионный туризм.

Сейчас этот вид туризма считается самым востребованным. Цель данного вида туризма: сочетание отдыха с приобретением новых знаний, ознакомлением с памятниками архитектуры, природы, достопримечательностями. Возможны кратковременные поездки (не больше одного дня) и экскурсионные туры (от нескольких дней до нескольких недель). Экскурсионный туризм чаще всего состоит из посещения нескольких городов одной страны или нескольких стран, включая в себя ознакомительные программы, авиаперелеты, железнодорожные и автобусные поездки. Наибольшую популярность завоевали туры по Западной Европе, что обусловлено свободным перемещением по странам Шенгенской зоны. Привлекательно то, что экскурсионные туры можно организовать в любое время года и в любую точку планеты. В ходе тура можно ознакомиться не только с современной жизнью, но и узнать исторические факты, местные легенды, обычаи, традиции. С точки зрения концепции 4p:

– Product: экскурсии в широком ассортименте;

– Price: варьируется от низких до средних, в зависимости от места проведения, репутации турфирмы, длительности поездки;

– Promotion: реклама в СМИ, штендеры, баннеры;

– Place: торговые точки рассредоточены по всему городу.

2. Рекреационный туризм.

Рекреационный туризм – это передвижение людей в свободное время в целях отдыха, необходимого для восстановления физических и душевных сил человека. Составляет 60 % мирового объема международного туризма. Рекреационный туризм можно разделить на два вида: туристско-оздоровительный (пассивный), познавательно-туристский (активный). К первому виду можно отнести солнечные и воздушные ванны. Второй вид – прогулки, спортивные игры и т. д. С точки зрения концепции 4p:

– Product: климатотерапия, ландшафтотерапия, гидротерапия, отдых у открытого водоема;

– Price: варьируется от низких до достаточно высоких;

– Promotion: реклама в СМИ, штендеры, «сарафанное радио», баннеры, «горящие путевки»;

– Place: торговые точки рассредоточены по всему городу.

3. Деловой туризм.

Деловой туризм – организация и управление командировками. С бизнес-туризмом связана также сфера корпоративных мероприятий и встреч – MICE. Основные цели бизнес-туризма: проведение встреч и переговоров с клиентами и партнерами. С точки зрения концепции 4p:

– Product: деловые встречи;

– Price: достаточно высокие;

- Promotion: реклама в определенных кругах;
- Place: отели.

4. Этнический туризм.

Этнический туризм – одно из направлений туризма, имеющее ярко выраженные этнические, языковые и культурные составляющие. Этнический туризм может быть как внутренним (например, посещение белорусской глубинки городскими жителями с целью ознакомления с архаичными говорами, фольклором, бытом, культурой и языками автохтонных народов), так и внешним, который связан с посещением исторической родины или мест рождения родственников. С точки зрения концепции 4р:

- Product: посещение Родины, культурное образование;
- Price: варьируются от средних до достаточно широких;
- Promotion: родственники, реклама в СМИ;
- Place: туристические компании.

5. Религиозный туризм.

Религиозный туризм (паломничество) – путешествие к Святой земле и другим географическим местностям, имеющим сакральное значение для христианской веры с целью поклонения и молитвы. С точки зрения концепции 4р:

- Product: посещение святых мест с целью поклонения или молитвы;
- Price: низкие;
- Promotion: реклама в СМИ, объявления, реклама в определенных кругах;
- Place: туристические компании, религиозные общины.

6. Экстремальный туризм.

Экстремальный (приключенческий) туризм – туризм, напрямую связанный с риском для жизни. Это могут быть как экстремальные виды спорта: роумп-джампинг, скалолазание, мотокросс и др., так и опасные маршруты в экстремальных для жизни условиях. С точки зрения концепции 4р:

- Product: экстрим, адреналин;
- Price: высокие;
- Promotion: реклама в СМИ, реклама в определенных кругах, сцены из художественных фильмов;
- Place: туристические компании, частные организации.

В зависимости от вида туризма меняются и маркетинговые мероприятия. То, что идеально подходит для продвижения экстремального туризма, будет оскорбительно, если применить для религиозного туризма. В экскурсионном виде путешествий основной упор делается на достопримечательности и культурное наследие страны, города, области. Целью рекреационного туризма является поддержание здоровья. Маркетинг в этом случае направлен на здоровый образ жизни, необходимость оздоровления и поддержания себя в «здоровом теле». Деловой туризм интересен только тем, кто напрямую связан с бизнесом. Маркетинг в наиболее распространенном своем виде может только навредить и в этом случае используется тихая реклама «только для своих». Этнический туризм интересен людям, которые хотят обогатить свое культурное развитие, внести красок в свою жизнь. Маркетинг в религиозном туризме должен быть предельно осторожным, чтобы случайно не нанести оскорбления чувствам верующих. Экстремальный туризм направлен в основном на молодежь с жадой адреналина. В этом случае и маркетинг должен быть ярким, вызывающим определенные ассоциации.

Маркетинг разнообразен и охватывает абсолютно все сферы жизнедеятельности человека. Если правильно подобрать маркетинговое мероприятие, то и результат не заставит себя ждать. Маркетинг – это все и все – это маркетинг!

Л и т е р а т у р а

1. Религиозный туризм // Wikipedea. ru.wikipedia.org. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Паломничество>. – Дата доступа: 10.03.2017.
2. Этнический туризм // Wikipedea. ru.wikipedia.org. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Этнический_туризм. – Дата доступа: 10.03.2017.
3. Рекреационный туризм // Wikipedea. ru.wikipedia.org. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Рекреационный_туризм. – Дата доступа: 10.03.2017.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ БРЕНДА «МИЛКАВИТА» В СТРУКТУРЕ МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. А. Карпенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. А. Фукова

Как мы знаем, позиционирование необходимо нам, чтобы целевой потребитель четко запомнил название нашей компании / товара, сформировал к нему необходимое нам отношение и придал ему те свойства, которые с нашей точки зрения повышают нашу конкурентоспособность на рынке и позволяют увеличивать продажи.

Основные задачи позиционирования:

- отстроиться от конкурентов;
- создать бренд на основе рациональных и/или эмоциональных выгод, значимых для целевой аудитории;
- задать направление для разработки атрибутов бренда – имени и дизайна, которые призваны доносить позиционирование до целевой аудитории;
- создать дополнительный защитный барьер от атак конкурентов на позиции бренда;
- «затачивать» и создавать маркетинговые коммуникации на основе выбранной стратегии позиционирования.

Хорошее позиционирование:

- сдержит основное преимущество – рациональную или эмоциональную выгоду для целевой аудитории;
- является достаточно узким и конкретным, т. е. отражает только одно главное преимущество;
- понятно потребителю;
- соответствует товарной категории;
- является уникальным и новым.

Структура позиционирования бренда состоит из:

- сущности бренда или его базовой ценности;
- обещания бренда или его основной выгоды;
- рациональные выгоды бренда;
- эмоциональные выгоды бренда;
- Brand Personality или описание бренда через личностные характеристики – например, дружелюбный, открытый;
- Tone of Voice, т. е. как бренд «разговаривает» с потребителем – например, как эксперт или близкий друг.

Нами было проведено изучение позиционирования на примере предприятия ОАО «Милкавита».

«Милкавита» – одна из крупнейших и динамично развивающихся молочных компаний Республики Беларусь с известным в странах ближнего и дальнего зарубежья именем и заслуженным авторитетом.

Основным предметом деятельности является переработка молока и производство из него широкого ассортимента натуральных, конкурентоспособных и абсолютно безопасных молочных продуктов высокого качества, изготовление которых осуществляется исключительно из свежего цельного коровьего молока.

Компания оснащена современным высокопроизводительным оборудованием. Так, в области технологий и оборудования партнерами выступают широко известные и заслуживающие доверия фирмы из Италии, Германии, Швеции, Австрии, Словакии, Польши и др.

Анализ среди топ 100 белорусских брендов, в которые входят 12 молочных брендов, показал, что суббренд «Моя славита», которая входит в бренд «Милкавита», занимает 83-е место. Как оказалось, три из пяти наиболее сильных молочных брендов принадлежат ОАО «Савушкин продукт»: одноименный «Савушкин продукт», «Брест-Литовск» и «Ласковое лето».

Сравним лидирующие бренды Республики Беларусь (по версии MPP Consulting «БелБренд–2016») с ОАО «Милкавита» по следующим трем пунктам:

1. Кто является целевой группой потребителей.
2. В чем назначение, польза и выгода для потребителя.
3. Чем данный бренд лучше существующих аналогов.

На первом месте располагается бренд «Бабушкина крынка» стоимостью 66,5 млн \$, на пятом – «Савушкин продукт» стоимостью 47,7 млн \$.

«Бабушкина крынка»:

1. В позиционировании не выделяет определенную целевую группу.
2. Свою миссию видит в создании вкусной, качественной, натуральной молочной продукции для здоровья и отличного самочувствия наших потребителей. В основе производственной стратегии и лидерства лежат три составляющих: натуральное сырье, полное техническое перевооружение и внедрение международных стандартов, регламентирующих требования к системам менеджмента качества.
3. В крупнейшем состязании в области маркетинга и брендинга «Бренд года–2015» золотую медаль получила «Бабушкина крынка» в номинации «Социально-ответственный бренд». Серебряной медалью отмечена компания в профессиональной номинации «Социальный бренд».

К сильным сторонам ОАО «Бабушкина крынка» можно отнести:

- хорошую репутацию у покупателей;
- собственные технологии производства;
- опыт в разработке новых товаров;
- высокий и устойчивый объем;
- низкие цены при высоком качестве производимой продукции;
- широкий ассортимент выпускаемой продукции;
- надежную сеть распределения, активную маркетинговую политику.

«Савушкин продукт»:

1. Целевая аудитория: потребители: женщины, мужчины, 18–46 лет, доход средний и выше среднего.
2. Сегодня «Савушкин продукт» производит более 200 наименований натуральной молочной продукции и твердых сыров без применения искусственных наполни-

телей и консервантов. Вся молочную продукцию компания вырабатывает исключительно из свежего высококачественного коровьего молока.

3. Основными конкурентными преимуществами компании на всех рынках ее присутствия являются серьезная маркетинговая стратегия и, априори высокое качество и натуральность выпускаемой продукции. В 2012 г. в Национальной библиотеке состоялось награждение победителей профессионального конкурса «Брэнд года–2012». Четыре высшие награды заслуженно достались ОАО «Савушкин продукт».

«Беллакт»:

1. Целевая аудитория: женщина, 25+, которая покупает продукты для себя и всей семьи. Она имеет высшее образование, материально обеспечена, активна.

2. Ввиду философии бренда «Беллакт» потребитель на первом месте. Об этом свидетельствуют такие награды, как победитель в Премии потребительского признания «Народная Марка-2016» в номинации «Производитель детского питания».

3. Звание «БРЭНД-ЛИДЕР в СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ» в профессиональном конкурсе «Брэнд года–2016». Волковысское ОАО «Беллакт» является в Республике Беларусь единственным производителем сухих молочных продуктов для детского питания. И естественно данный вид продукции требует к себе особого внимания, особенно в части пищевой безопасности.

«Милкавита»:

1. Целевая аудитория: женщины 25–45 лет, жительниц крупных городов, с доходом средним, выше среднего.

2. Главная стратегическая цель, которую поставил перед собой коллектив гомельских производителей молочной продукции – завоевать и сохранить доверие потребителей путем выпуска безопасной молочной продукции высокого качества как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

3. Одним из преимуществ является строительство нового цеха по производству сухой молочной сыворотки мощностью по переработке 500 тн сыворотки в сутки. Уникальность проекта, аналогов которому нет не только в Беларуси, но и в странах СНГ, заключается в том, что здесь будет перерабатываться не один, а несколько видов сыворотки: подсырная, казеиновая и творожная.

Таким образом, в топ 100 белорусских брендов входят 12 молочных брендов. Суббренд «Моя славита», которая входит в бренд «Милкавита», занимает 83-е место. Как оказалось, три из пяти наиболее сильных молочных брендов принадлежат ОАО «Савушкин продукт»: одноименный «Савушкин продукт», «Брест-Литовск» и «Ласковое лето». Следом по количеству лояльных покупателей идут «Беллакт» и «Бабушкина крынка». Все бренды в молочной отрасли позиционируют себя как натуральный, свежий продукт. Хорошо известные бренды стараются выпускать максимальное разнообразие видов и вкусов товаров, чтобы потребитель отдавал предпочтение только их бренду. В основном целевая группа – это женщины 25+ лет, так как они в большинстве случаев совершают покупки. Хотя многие бренды понимают свою целевую аудиторию, но не имеют четкого сообщения с ней.

Ввиду высокой конкуренции в молочной отрасли и постоянного ее развития, все предприятия стараются усовершенствовать свою технологию производства и при позиционировании делают акцент на внедрении новых технологий, усовершенствовании технологий, что является весомым преимуществом.

Также при позиционировании предприятия, как например «Беллакт», может выбрать лидирующее ассортиментное направление (детское питание и т. д.), что дает лидерское преимущество, так как на белорусском рынке нет конкурентов. Что касается «Милкавиты», то у нее достаточно высокая конкуренция среди других брендов, выпускающих аналогичный ассортиментный ряд.

**КОММУНИКАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОСТИНИЧНОМ
БИЗНЕСЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ****П. П. Шаповалов***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Е. Н. Карчевская

В условиях глобализации и интенсификации международных связей, туристских и миграционных потоков динамично развивающаяся индустрия гостеприимства превращается в катализатор ускоренного развития многих секторов «социальной экономики», формируя новые критерии эффективности работы гостиничных организаций. Становится очевидным, что в настоящее время в специфических условиях сферы услуг уже недостаточно различать только «эффективность результативную» (отражающую затратно-ресурсный подход) и «эффективность экономическую» (отражающую целеориентированный подход). Особую актуальность приобретает анализ обоснованности целей деятельности гостиниц, а также критериев эффективности, что переводит рассматриваемую проблему на более высокий уровень теоретического рассмотрения [2].

Эффективность сервисного предприятия (прежде всего – гостиничной организации) можно исследовать с самых разных сторон: с точки зрения формирования затрат, планирования объема услуг, прибыли, реализации инвестиционных проектов и др. Вместе с тем анализ затрат, методов их распределения, составление и контроль выполнения смет и т. п. выступают необходимым и начальным этапом анализа общей эффективности сервисной организации.

Целесообразно учитывать также факторы внешнего и внутреннего характера, влияющие на результат, но при расчете экономической эффективности фактически не принимаемые во внимание. В этом случае нельзя абстрагироваться от социальных целей и интересов разных групп, которые причастны к деятельности гостиницы и влияют на уровень эффективности ее деятельности [2].

В литературе, при рассмотрении сферы гостеприимства, выделяют следующие группы, косвенно или прямо связанные с деятельностью гостиничных организаций: собственники предприятия, администрация; персонал; партнеры; потребители (постояльцы); налоговые органы. Жизненные цели и ценности у представителей указанных групп различны, но сходятся в необходимости прибыльного функционирования гостиницы и ее устойчивого развития. По-разному они видят способы достижения поставленной цели. К тому же каждая группа формирует свои, отличные от других, конкретные ожидания от эффективной деятельности гостиницы.

В условиях рыночной экономики, объективно предполагающей постоянное совершенствование процесса производства услуг, в силу действия факторов нестабильности и повышенного риска общим целям гостиничной организации отвечает менеджмент, направленный на рациональную организацию производства услуг, эффективное использование и координацию ресурсов предприятия, создание условий для успешной деятельности. На фоне усиления позиций крупных гостиничных цепей, повышения ценности малых гостиниц, обострение конкурентной борьбы и взаимозависимость субъектов рынка диктует необходимость учета менеджерами множества разнонаправленных запросов и ожиданий, импульсы которых исходят от потребителей с возрастающими требованиями к уровню сервиса, спектру дополнительных услуг, индивидуализацией интересов, партнеров, персонала и др. В связи с этим актуализируется вопрос об эффективности самой системы управления в гостиницах. Опреде-

лить это можно по следующим направлениям: анализ и оценка организационно-технических мероприятий по совершенствованию управления; расчет общего эффекта работы коллектива и выделение в нем доли эффекта самой системы управления; оценка результатов деятельности функциональных подразделений; выявление результативности взаимодействия с контролирующими органами и др. [2].

Результативным способом улучшения систем управления предприятиями гостиничного хозяйства является использование информационных систем и современных информационных технологий. Информационная технология представляет собой структурообразованное, выраженное в программной форме (т. е. в формализованном виде, пригодном для практического использования) насыщенное использование научных знаний, сведений и практического опыта, позволяющего разумным образом организовать тот или иной достаточно часто повторяющийся информационный процесс [1].

Вычислительные сети и сетевые информационные технологии представляют собой актуальное и перспективное направление развития информационных технологий. Их цель заключается не только в обеспечении обмена информацией между отдельными пользователями информационно-вычислительных систем, но также и в создании возможностей общего использования распределенных информационных ресурсов, получения справочной, документальной и другой информации из различного рода специализированных информационных фондов [1].

Одним из важных аспектов результативного использования различных информационных технологий является экономия времени. В первую очередь необходимость экономии времени должна ориентироваться на технологии, связанные с наиболее широко потребляемыми информационными процессами, улучшение которых и может дать наибольшую экономию времени именно благодаря их массовому распространению и множественному использованию [1].

В числе отличительных свойств информационных технологий, имеющих стратегическое значение для развития общества и различных отраслей экономики, целесообразно выделить как наиболее важные следующие из них [1]:

- информационные технологии на данный момент являются наиболее важным стратегическим фактором прогресса, которые позволяют побуждать эффективно использовать информационные ресурсы общества;
- в последние годы информационные технологии позволяют совершенствовать и во многих случаях механизировать процессы управления, в результате чего они занимают все большее место в функционировании человеческого общества;
- информационные процессы являются важным элементом других более сложных производственных или же социальных процессов.

Объективная надобность применения информационных и телекоммуникационных технологий в менеджменте гостиничным хозяйством определяется тем, что он представляет собой внушительную отрасль по торговле услугами.

Можно выделить основные характерные черты гостиничного хозяйства. Во-первых, это объединенная торговля услугами и разнообразная. Во-вторых, это совокупная услуга, с точки зрения производителя и потребителя. В-третьих, это информационно насыщенная услуга. Поэтому гостиничный бизнес представляет собой одну из сфер растущего применения информационных технологий [1].

Отдельные звенья гостиничного хозяйства тесно взаимосвязаны друг с другом. Это позволяет рассматривать гостиничный бизнес как высоко объединенную услугу, что делает его еще более чувствительным для применения информационных технологий в организации и менеджменте. Многие гостиницы вертикально или горизонтально

вовлечены в деятельность с другими предприятиями, оказывающими сопутствующие услуги, например, питание, развлечение проживающих и т. п.

Для повышения эффективности комплекса гостиничных услуг должна быть создана качественная информационная база индустрии туризма и гостеприимства, как на внешнем уровне, так и внутреннем, которая позволит повысить информационное качество всех участников рынка гостиничных услуг [2].

В связи с активной информатизацией общества появилась необходимость автоматизации все большего количества операций в гостиницах с целью улучшения информационного комфорта клиентов и повышения эффективной деятельности организации сферы гостеприимства в целом.

Несмотря на важность различных элементов инфраструктуры системы управления с развитием индустрии гостеприимства роль информационных систем и технологий является решающей. Это актуализирует необходимость анализа информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), применяемых в гостиничной деятельности.

Информационные и коммуникационные технологии, используемые гостиницами и ресторанами Гомельской области, %*

Организации, использовавшие ИКТ	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Локальные вычислительные сети	68,8	69,3	72,2	75,2
Интернет	75,1	76,1	77,1	77,1
Организации, имевшие веб-сайт	48,1	48,2	49,7	52,5

* Авторское обобщение по данным Белстата.

Используя данные Белстата [3], рассмотрены динамические процессы применения ИКТ гостиницами и ресторанами Гомельской области в контексте формирования качественной информационной базы сферы туризма и гостеприимства с целью повышения эффективности комплекса предоставляемых услуг. Так, число организаций, использующих локальные вычислительные системы, возросло за рассматриваемый период на 6,4 %, Интернет – на 2 %, число организаций, имеющих веб-сайт, увеличилось на 4,4 %.

В целом, за анализируемый период отмечен рост потребления ИКТ, свидетельствующий о постепенном формировании предприятиями индустрии гостеприимства информационной базы, их активизации в инновационном направлении.

Таким образом, уже сегодня предприятия гостиничного бизнеса могут с помощью информационных технологий сделать свою работу более динамичной и прибыльной.

Литература

1. Абдуллаева, А. А. Информационные технологии, их роль в эффективном управлении предприятиями гостиничного бизнеса / А. А. Абдуллаева // Транспорт. дело России. Экономика и экон. науки. – 2009. – № 6. – С. 75–78.
2. Савчишкина, Е. П. Информационное обеспечение управления развитием организаций сферы гостеприимства / Е. П. Савчишкина // Инженер. вестн. Дона. Экономика и экон. науки. – 2010. – № 4. – С. 321–332.
3. Главное статистическое управление Гомельской области. – Гомель, 2017. – Режим доступа: <http://gomel.belstat.gov.by>.

МИРОВЫЕ ГОСТИНИЧНЫЕ ЦЕПИ**Е. А. Дриневская, А. П. Равковская***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Л. Л. Соловьева

Большинство гостиничных предприятий мира входит в ту или иную гостиничную цепь. Под цепью подразумевается группа гостиниц (две и более), осуществляющая коллективный бизнес и находящаяся под непосредственным контролем руководства цепи[1]. Цепь может иметь собственные здания и землю или арендовать их. Основными причинами успеха цепей являются постоянство в качестве продукта и обслуживания, их идентичность на разных предприятиях, а также доступность цен.

Объединение в международные цепи предполагает, что отели предпринимают меры по повышению своей конкурентоспособности. У известных корпораций выработаны правила и стандарты, обеспечивающие своеобразие стиля и сценария обслуживания клиентов всех входящих в нее отелей. В целом основные характеристики цепочек сводятся к следующему:

- схожесть в территориальном расположении;
- единство стиля (архитектура и интерьер);
- единство обозначений и внешней информации;
- просторный и функциональный холл;
- единство и быстрота регистрации клиентов;
- номера, продуманные для «частных путешественников»;
- завтрак «шведский стол»;
- наличие конференц-зала;
- гибкая система тарифов;
- единое управление, маркетинг и служба коммуникаций.

По данным Всемирной туристической организации, всего в мире действует 16 млн гостиниц, причем 25 % из них относится к гостиничным сетям [2].

Процесс возрастания значимости гостиничных цепей в управлении мировым гостиничным хозяйством характеризуется существенным противоречием: с одной стороны, укрупняются ведущие гостиничные цепи, оперирующие во многих странах; с другой – все большее число стран создает собственные гостиничные цепи, успешно конкурирующие с интернациональными монополиями.

Гостиничные цепи объединяют не только отели, являющиеся собственностью той или иной цепи, но и входящие в них на условиях франшизы (в настоящее время примерно 80 % отелей входят в цепи именно на правах франчайзинга).

В наше время к известным гостиничным цепям можно отнести:

- Hilton Hotels (США);
- Marriott Hotel (США);
- Radisson Hotels (США);
- Kempinski (Швейцария);
- InterContinental (Англия);
- Accor (Франция) и др.

Рассмотрим несколько крупных гостиничных цепей более подробно.

Hilton Hotels & Resorts – крупная сеть отелей, принадлежащая корпорации Hilton Worldwide.

Вдохновленный мечтой создания лучшего отеля в Техасе, Конрад Николсон Хилтон в 1919 г. основал первый отель сети Hilton, который назывался Мобли отель.

Первый отель, носящий имя Hilton, открылся в 1925 г. в Далласе, США. В 1954 г. Конрад Н. Хилтон приобретает Statler Hotel за 111 млн долл. США, что стало самой большой в истории сделкой в области недвижимости [3].

В 1964 г. Hilton International создается как отдельная компания, президентом которой является Конрад Хилтон. Через два года сын Конрада Хилтона, Баррон, сменяет его в должности президента корпорации Hilton Hotels.

В 2007 г. у корпорации были финансовые трудности, и владельцы вынуждены были продаться группе Blackstone за 26 млрд долл. Сейчас сеть растет и развивается. Но в основном на просторах США. Благодаря полной самоотдаче, умению руководить и нововведениям сегодня Hilton – это один из самых известных и уважаемых брендов в мире.

Hilton Hotels & Resorts включает более 3750 гостиниц в 84 странах мира. (Отели Hilton есть в таких городах как: Санкт-Петербург, Краснодар, Астана, Самара, Новосибирск, Минск и т. д.) [4].

Marriott International – международная компания по управлению гостиничными сетями со штаб-квартирой в США. Оказывает услуги по управлению 6080 гостиницами общей вместимостью 1,2 млн номеров под 30 брендами в 90 странах мира (на 2016 г.). В 1957 г. Джон Марриот открыл свой первый отель. В 1964 г. сын основателя компании стал ее президентом, компания приобрела права на обслуживание авиаперевозок, покупала сети ресторанов и гостиницы. В 1967 г. название компании было изменено на Marriott Corporation [5].

В последующие годы компания бурно развивалась: открывались новые отели, основывались новые бренды и приобретались работающие небольшие цепочки в сфере торговли и услуг. Первоначально компания занималась только дорогими отелями, однако в начале 1980-х решила занять и другие ниши на гостиничном рынке, отели с умеренными ценами [5].

Ассор Group – французская компания, оператор сетей гостиниц и ресторанов. Штаб-квартира – в пригороде Парижа. Основана в 1967 г. Главный управляющий – Деннис Эннекен. Ассор Group имеет в собственности и в управлении около 4 тыс. отелей по всему миру с общим номерным фондом около 500 тыс. номеров.

ТОП-10 крупнейших гостиничных операторов (по объему номерного фонда)

Гостиничный оператор	Количество отелей	Количество номеров
1. Marriott International	5456	1071096
2. Hilton Hotel	4480	737922
3. InterContinental Hotels Group	4963	726876
4. Wyndham Hotels Group	7760	671900
5. Jin Jiang International	6000	640000
6. Choice Hotels International	6379	504357
7. Acoor Hotels	3815	500366
8. Best Western Hotels	3903	303768
9. Homeinns Hotel Group	2787	311608
10. Carlson Rezidor Hotel Group	1092	172234

По объемам строительства среди гостиничных операторов лидирует Marriott International (2190 проектов, включающие 368077 номеров), на втором месте – Hilton Worldwide (1841 объект с 283326 номерами), за ними следуют IHG (1351 объект с 209208 номерами) и Choice Hotels (488 объектов с 42933 номерами).

Отель сети Accor планируется открыть в Минске в 2017 г.

На данный период в Республике Беларусь присутствуют такие гостиницы как:

- Marriott Hotel (Минск) 5*;
- DoubleTree by Hilton (Минск) 5*;
- Renaissance Minsk Hotel 5*;
- Hampton by Hilton 3*;
- сеть InterContinental, которая представлена отелем Crowne Plaza 5*.

В Минске запланировано открытие 3-х гостиниц сетевых брендов:

- Hyatt Regency (отель выставлен на аукцион);
- Novotel Minsk (Accor);
- Kempinski;
- Radisson Blu.

Потребители гостиничных услуг предпочитают такие известные гостиницы как:

- InterContinental Hotels Group;
- Marriott International;
- Hilton Hotels;
- Accor Group;
- Hyatt;
- Starwood Hotels & Resorts;
- Choice Hotels;
- Best Western;
- Starwood Hotels & Resorts;
- Kempinski;
- Renaissance.

Цены за проживание в гостиницах в Республике Беларусь абсолютно разные. Стоимость номера зависит от звездности гостиницы, от класса номера, от известности марки и т. д.

За номер (стандарт) в пятизвездочном отеле в Минске (за одну ночь) туристам придется заплатить от 130\$. Следовательно, цена на такие номера как люкс, полулюкс и т. д. будет значительно дороже. Стоимость президентского номера в гостинице «Президент» будет составлять от 1700\$, а президентского номера в гостинице CROWNE PLAZA 5* – 735\$.

Стоимость одноместного номера (за одну ночь) в четырехзвездочном отеле составляет от 108 BYN, а стоимость апартаментов – от 246 BYN.

Проживание в трехзвездочном отеле обойдется туристам от 44 BYN за сутки [6].

В заключение необходимо отметить, что гостиничные цепи играют свою определенную роль, они позволяют продвигать на мировой рынок гостиничных услуг высокие стандарты обслуживания, а также способствуют поддержке гостиничного обслуживания туристов.

Путешественник, встретив отель знакомой ему корпорации в чужой стране, чувствует себя почти как дома, в привычной и комфортной обстановке. Преимуществом крупных гостиничных цепей является сокращение расходов за счет роста объемов (эффект масштаба). Ошибки в процессе деятельности одной из гостиниц могут быть покрыты за счет других входящих в цепь предприятий. Поэтому можно

говорить о высокой устойчивости и стабильности гостиничных предприятий, являющихся членами мировых гостиничных цепей.

Литература

1. Все о туризме. – Режим доступа: http://tourlib.net/statti_tourism/arifullin.htm. – Дата доступа: 01.04.2017.
2. Завтра сессия. Режим доступа: <http://www.zavtrasessiya.com/index.pl?act=PRODUCT&id=2954>. – Дата доступа: 01.03.2017.
3. Hilton. – Режим доступа: <http://ru.hiltonworldwide.com/about/history/>. – Дата доступа: 01.04.2017.
4. Сети гостиниц. – Режим доступа: <http://www.convenientrest.ru/desyatka.php>. – Дата доступа: 01.04.2017.
5. Marriot International. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Marriott_International. – Дата доступа: 01.04.2017.
6. Квартирант.by. – Режим доступа: <http://www.kvartirant.by/hotels/list/page/3/>. – Дата доступа: 01.04.2017.

ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЙ ТУРИЗМ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО РАЗВИТИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. А. Сулова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Домород

В последнее время в мире все чаще прослеживается рост интереса туристов к лечебно-оздоровительному туризму. Лечебно-оздоровительный туризм осуществляется с целью укрепления здоровья и предусматривает пребывание в санаторно-курортных учреждениях. Главной целью данного вида туризма является профилактика различных заболеваний и отдых. Оздоровительный туризм характеризуется большей продолжительностью поездки, посещением меньшего количества городов и большей продолжительностью пребывания в одном месте, т. е. наряду с проведением досуга предусматривает отдых.

Курорт – освоенная и используемая с целью лечения, медицинской реабилитации, профилактики заболеваний и оздоровления особо охраняемая природная территория, располагающая природными лечебными ресурсами и необходимыми для их эксплуатации зданиями и сооружениями, включая объекты инфраструктуры.

Современные белорусские санатории расположены в самых красивых и лечебных уголках страны, где целительной является природа уже сама по себе. Благодаря умеренно-континентальному климату Беларуси, с мягкой и влажной зимой и довольно теплым летом, отдых и оздоровление в стране может проводиться круглый год. Климатические и природные лечебные факторы (источники минеральных вод четырех типов и месторождения лечебных грязей) способствуют лечению многих заболеваний.

Основные профили лечения в белорусских санаториях: заболевания органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата и костно-мышечной, нервной системы и желудочно-кишечного тракта, гинекологические заболевания и болезни органов кровообращения.

Рассмотрим динамику санаторно-курортных, оздоровительных организаций и организаций отдыха Республики Беларусь, представленную в табл. 1.

Таблица 1

**Основные показатели деятельности санаторно-курортных,
оздоровительных организаций и других специализированных
средств размещения Республики Беларусь**

Наименование	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Число санаторно-курортных, оздоровительных организаций и организаций отдыха:	334 (100 %)	421 (100 %)	448 (100 %)	464 (100 %)	466 (100 %)	475 (100 %)
в них коек, тыс.	43,5	45,7	46,5	49,9	46,9	47,0
обслужено лиц, тыс.	710,6	813,3	844,4	833,4	847,4	760,7
Число санаториев:	67 (20 %)	73 (17 %)	74 (16,5 %)	74 (15,9 %)	74 (15,8 %)	75 (15,7 %)
в них коек, тыс.	18,8	20,1	20,1	20,2	20,4	20,7
обслужено лиц, тыс.	380,3	406,4	426,5	420,2	431,1	389,7
Число детских реабилитационно-оздоровительных центров:	13 (3,8 %)	13 (3 %)	13 (2,9 %)	13 (2,8 %)	12 (2,6 %)	12 (2,5 %)
в них коек, тыс.	5,0	5,1	5,7	4,9	4,5	4,7
обслужено лиц, тыс.	76,7	74,9	75,8	71,7	65,8	67,9
Число баз отдыха, пансионатов:	89 (26,6 %)	97 (23 %)	100 (22,3 %)	103 (22,2 %)	97 (20,8 %)	96 (20,2 %)
в них коек, тыс.	6,7	6,1	6,2	6,2	6,2	6,1
обслужено лиц, тыс.	94,8	101,7	109,4	94,7	95,9	83,8
Число туристско-оздоровительных комплексов:	6 (1,8 %)	6 (1,4 %)	5 (1,1 %)	5 (1 %)	5 (1 %)	6 (1,2 %)
в них коек, тыс.	2,4	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2
обслужено лиц, тыс.	27,1	23,6	17,5	17,1	18,0	16,4
Число других санаторно-курортных, оздоровительных и организаций отдыха:	147 (44 %)	213 (50,6 %)	239 (53,3 %)	251 (54,1 %)	258 (55,4 %)	265 (55,7 %)
в них коек, тыс.	9,5	11,7	12,1	15,1	13,0	12,8
обслужено лиц, тыс.	113,7	184,5	193,8	205,4	204,5	177,3

Источник: www.belstat.gov.by.

Анализируя табл. 1, видно, что наибольший удельный вес (20,2 %) занимают базы отдыха и пансионаты, а наименьший (1,2 %) туристско-оздоровительные комплексы (не учитывая число других санаторно-курортных, оздоровительных организаций и организаций отдыха). Также достаточную долю имеют санатории и детские реабилитационно-оздоровительные центры. Из таблицы видно, что динамика санаторно-курортных организаций, оздоровительных организаций и организаций отдыха с 2010 по 2015 г. положительная. Следует отметить, что численность средств размещения оздоровительно-го туризма за последние 6 лет увеличилась практически в 1,5 раза. Произошло лишь уменьшение числа детских реабилитационно-оздоровительных центров, на прежнем уровне осталось количество туристско-оздоровительных комплексов. Новые базы

отдыха и пансионаты открывались до 2013 г. включительно, с 2014 г. их количество стало уменьшаться. Также можно сказать, что произошел незначительный рост числа санаториев за последние годы.

В связи с положительной динамикой числа оздоровительных организаций и организаций отдыха уместно проследить динамику спроса или же лиц, размещенных в данных организациях, не только Беларуси, но и иностранных граждан. Данная динамика приведена в табл. 2. Особое внимание следует уделить количеству граждан из иностранных государств, так как при продаже путевок данным гражданам оздоровительная организация получает больше дохода. Это связано с тем, что при расчете стоимости путевки для иностранных граждан используется повышающий коэффициент. Величина повышающего коэффициента может достигать до 0,5.

Однако, как было отмечено выше, наблюдалась положительная динамика санаторно-курортных, оздоровительных и организаций отдыха, соответственно для 100%-й заполняемости данных организаций и их экономически эффективной работы необходима и положительная динамика числа лиц, размещенных в санаторно-курортных, оздоровительных и других специализированных средствах размещения.

Таблица 2

Численность лиц, размещенных в санаторно-курортных, оздоровительных и других специализированных средствах размещения, тыс. чел.

Показатель	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013г.	2014г.	2015 г.
Численность размещенных лиц – всего	710,6 (100 %)	813,3 (100 %)	844,4 (100 %)	833,4 (100 %)	847,4 (100 %)	760,7 (100 %)
в том числе: граждан РБ	539,2 (75,9 %)	624,2 (76,7 %)	617,3 (73,1 %)	607,1 (72,8 %)	616,1 (72,7 %)	587,7 (77,3 %)
граждан из иностранных государств:	171,4 (24,1 %)	189,1 (23,3 %)	227,1 (26,9 %)	226,4 (27,2 %)	231,3 (27,3 %)	172,6 (22,7 %)
в том числе из: стран СНГ	164,9 (23,2 %)	180,8 (22,2 %)	218,4 (25,9 %)	217,5 (26,1 %)	220,3 (26 %)	165,3 (21,7 %)
стран вне СНГ	6,5 (0,9 %)	8,3 (1 %)	8,7 (1 %)	8,9 (1,1 %)	11,0 (1,3 %)	7,6 (1 %)

Источник: www.belstat.gov.by.

Из табл. 2 видно, что в 2015 г. всего лишь 22,7 % иностранных туристов от общей численности размещенных лиц оздоровились в Беларуси, что на 4,6 % меньше, чем в 2014. Несмотря на это, о значительном снижении спроса со стороны иностранных туристов на оздоровительные услуги белорусских организаций сказать нельзя, так как произошел и общий спад численности лиц, размещенных в санаторно-курортных, оздоровительных и других средствах размещения с 2014 по 2015 г. Данная величина снизилась на 10 % за последние 2 года. Если же говорить о динамике за последние 6 лет, то можно отметить незначительный рост числа граждан, размещенных в санаторных и оздоровительных организациях.

Однако, в связи с тем, что с 2014 по 2015 г. произошел рост количества организаций отдыха и оздоровления, необходим и рост числа лиц, обслуженных в них. Так как за эти 2 года число иностранных граждан, в том числе и из стран СНГ, снизилось

на 25 %, необходимо выяснить причину спада спроса на оздоровление в Беларуси. Для того сравним цены на путевки в стандартные одноместные номера в санатории Беларуси и России. В белорусском санатории «Белая Русь» (Минская область) стоимость проживания в одноместном номере на одного человека в сутки составляет 58 бел. р. (2120 рос. р.). А в российском санатории «Городецкий» стоимость проживания в одноместном номере на одного человека в сутки составляет в среднем 3895 рос. р. (130.30 бел. р.). Из этого следует, что цены в нашей страны значительно ниже российских. Следовательно, снижение оздоровления иностранных туристов в белорусских здравницах нельзя связать с завышенными ценами.

Проанализировав отзывы иностранных туристов на нескольких сайтах белорусских санаториев, можно сделать следующие выводы: главными факторами, которые сдерживают привлечение посетителей в санатории-профилактории, являются низкий уровень обслуживания персонала, узкий ассортимент и неудобный график питания, дороговизна, недостаточно разнообразная лечебная база и несоответствие графику работы предоставляемых услуг, неудовлетворительная система отопления, малопривлекательный интерьер, неудобство проезда к санаторию. Таким образом, для привлечения граждан из стран СНГ в белорусские санатории необходимо повышать уровень комфортности при неизменной стоимости путевки.

НАПРАВЛЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СБЫТОВОЙ ПОЛИТИКИ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «8 МАРТА»

А. В. Кравченко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель О. В. Лапицкая

С каждым годом возрастает значение сети интернет как во всем мире, так и в нашей стране в частности. Интернет-магазин представляет собой программный комплекс. Основной целью любого магазина является удовлетворение потребностей потребителей, а интернет-магазин отличается от традиционного своей интерактивностью, большим количеством информации и ассортимента, персонализированным подходом к каждому посетителю. Сейчас насчитывается тысячи интернет-магазинов, в которых можно приобрести любые товары и любые услуги.

Процесс разработки графического дизайна, верстки и программирования планируется поручить сторонней организации–разработчику. В качестве такой организации выступит компания «Create.by». Стоимость разработки интернет-магазина была рассчитана специалистами компании «Create.by» и составляет 1200 р.

Единовременные затраты (ЕВ) на создание магазина включают следующие статьи затрат:

- затраты на приобретение оборудования (ТПС);
- затраты на установку и монтаж оборудования (УМО);
- затраты на создание интернет-магазина и регистрацию в каталогах (РСС).

Рассмотрим их подробнее. Согласно проекту интернет-магазина для работы администратору потребуются компьютер, монитор и принтер.

Таблица 1

Стоимость оборудования для администратора интернет-магазина

Наименование	Стоимость, р.
Компьютер офисный	871
Принтер лазерный	361
<i>Итого</i>	1232

Источник: собственная разработка.

Затраты на установку и монтаж оборудования (УМО) определим по общепринятым нормативам (2,5 %), в процентах от стоимости технических и программных средств:

$$\text{УМО} = \text{ТПС} \cdot 2,5 \%, \quad (1)$$

где УМО – затраты на установку и монтаж оборудования, р.; ТПС – затраты на приобретение оборудования, р.

Найдем УМО по формуле (1):

$$\text{УМО} = 1232 \cdot 2,5 \% = 30,8 \text{ р.}$$

Таблица 2

Единовременные затраты на разработку интернет-магазина

Статья затрат	Величина, р.
Затраты на приобретение компьютерной техники	1232
Затраты на установку и монтаж оборудования	30,8
Затраты на разработку дизайна и наполнения интернет-магазина	1200
<i>Итого</i>	2462,8

Источник: собственная разработка.

Эксплуатационные затраты представляют собой сумму затрат связанных с эксплуатацией электронного магазина. Они включают следующие статьи затрат:

- амортизационные отчисления;
- затраты на потребляемую электроэнергию;
- затраты на оплату труда;
- начисления на заработную плату.

Рассчитаем норму амортизационных отчислений линейным способом:

$$\text{Амор} = \frac{C_{\text{ос}}}{C_{\text{р}_{\text{экз}}}}, \quad (2)$$

где Амор – амортизационные отчисления, р.; $C_{\text{ос}}$ – остаточная стоимость, р.; $C_{\text{р}_{\text{экз}}}$ – срок эксплуатации, лет.

Найдем по формуле (2) норму амортизационных отчислений:

$$\text{Амор} = 1232/5 = 246,4 \text{ р.}$$

Затраты на потребляемую электроэнергию:

$$Z_{\text{эл}} = Ц \cdot M \cdot t \cdot \Phi_{\text{э}}, \quad (3)$$

где $Z_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию, р.; $Ц$ – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии (0,08 р./ кВт · ч), р.; M – потребляемая мощность ПЭВМ (0,45 кВт), кВт; t – время работы в день (8 ч), ч; $\Phi_{\text{э}}$ – годовой фонд времени (260 дней), дни.

Найдем затраты на потребляемую электроэнергию по формуле (3):

$$Z_{\text{эл}} = 0,08 \cdot 0,45 \cdot 8 \cdot 260 = 74,88 \text{ р.}$$

Затраты на оплату труда диспетчера (администратора) и водителя определяем исходя из данных в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчета оплаты труда

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение
Количество работников	Ч	чел.	2
Оклад одного работника	Зп	р.	300
Фонд социальной защиты населения	ФСЗН	%	34

Источник: собственная разработка.

Рассчитаем заработную плату работников в год:

$$Z_{\text{пг}} = Зп \cdot 12, \quad (4)$$

где $Z_{\text{пг}}$ – заработная плата работников в год, р.; $Зп$ – заработная плата работников в месяц, р.

Найдем заработную плату работников в год по формуле (4):

$$Z_{\text{пг}} = 600 \cdot 12 = 7200 \text{ р.}$$

Теперь рассчитаем затраты в фонд социальной защиты населения.

$$Z_{\text{фсзн}} = Z_{\text{пг}} \cdot 34 \%, \quad (5)$$

где $Z_{\text{фсзн}}$ – затраты в фонд социальной защиты населения, р.; $Z_{\text{пг}}$ – заработная плата работников в год, р.; 34 % – процент ФСЗН, %.

Найдем затраты по формуле (5):

$$Z_{\text{фсзн}} = 7200 \cdot 34 \% = 2448 \text{ р.}$$

Теперь мы можем рассчитать все затраты связанные с оплатой труда работников:

$$Z_{зп} = Z_{пг} + Z_{фсзн}. \quad (6)$$

Рассчитаем затраты по формуле (6):

$$Z_{зп} = 7200 + 2448 = 9648 \text{ р.}$$

Сведем расчеты эксплуатационных затрат в табл. 4.

Таблица 4

Сводные показатели по расчету эксплуатационных затрат

Наименование затрат	Стоимость, р.
Амортизационные отчисления	246,4
Оплата за электроэнергию	74,88
Затраты на оплату труда работников	9648
<i>Итого</i>	9969,3

Источник: собственная разработка.

Расчет показал, что единовременные вложения в сумме составили: 2462,8 р., эксплуатационные затраты – 9969,3 р.

По данным социологического опроса на вопрос о том, будут ли покупать не только в магазинах, но и в интернет-магазине, 1 % потребителей ответили, что будут покупать продукцию в интернет-магазине.

Для расчета прибыли необходимо рассчитать количество потребителей генеральной совокупности, которые будут приобретать товары предприятия в интернет-магазине. Генеральную совокупность составляют посетители сайта предприятия. Их численность составила 77 тыс. человек.

Число потребителей из генеральной совокупности, которые приобретут товары в интернет-магазине, составило 770 человек.

По данным опроса средняя сумма, на которую потребители готовы покупать продукцию, составила 20 р.

Доход будет равен

$$Д = ЧП \cdot СЧ, \quad (7)$$

где Д – доход, р.; ЧП – число потребителей, чел.; СЧ – сумма чека, р.

Рассчитаем доход по формуле (7):

$$Д = 770 \cdot 20 = 15400 \text{ р.}$$

Найдем экономический эффект. Эффект рассчитаем по формуле (8):

$$Эф = Д - З, \quad (8)$$

где Эф – экономический эффект, р.; Д – доход, р.; З – затраты, р.

$$\text{Эф} = 15400 - (9969,3 + 2462,8) = 2967,9 \text{ р.}$$

Таким образом, исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что создание интернет-магазина будет эффективным для предприятия. После создания интернет-магазина предприятие получит экономический эффект в размере 2967,9 р.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГОСТИНИЧНОГО БИЗНЕСА ПРИ ПОМОЩИ OPENERP СИСТЕМ

А. О. Бабинский

*Учреждение образования «Белорусский государственный
экономический университет», г. Минск*

Научный руководитель Г. Н. Подгорная

Процессы, происходящие в туристском секторе, отражаются на основных показателях функционирования гостиниц, а последние определяют показатели туристской активности. Строительство новых гостиниц может существенно повысить привлекательность туристского направления, увеличив поток туристов, и наоборот, устаревшая гостиничная материально-техническая база может стать причиной снижения туристской активности и конкурентоспособности на рынке туристских услуг. Исходя из места и значимости гостиничной индустрии для данной отрасли исследование процессов, происходящих в этой сфере, имеет особую актуальность.

Целью данной работы является определение взаимосвязи и упорядочения выполнения оптимизации работы гостиницы при помощи внедрения Odoo (OpenERP) в информационную инфраструктуру.

Цель работы обусловила необходимость решения следующих задач:

- упорядочить и систематизировать понятия в области Odoo(OpenERP);
- определить взаимосвязь между оптимизацией работы гостиницы и внедрением Odoo (OpenERP) в информационную инфраструктуру гостиницы.

Число гостиниц и аналогичных средств размещения в Республике Беларусь в 2016 г. составило 540 ед. и увеличилось по сравнению с 2005 г. на 254 ед., или в 2 раза. Число мест в них за этот период увеличилось с 23,5 тыс. до 36,4 тыс., или на 12,9 тыс., что составляет прирост 54,8 %. Эти данные свидетельствуют о высоких темпах роста гостиничной индустрии. Численность гостей, воспользовавшихся услугами средств размещения, за 2005–2016 гг. возросла с 1,3 млн человек до 1,8 млн человек, или на 0,5 млн человек, что составляет прирост 30,8 %. Выручка, поступившая от средств размещения в 2016 г., составила 6940,3 млн р. и по сравнению с 2005 г. возросла в 11,7 раза. Гостиничный бизнес является прибыльным и рентабельным, в 2016 г. рентабельность продаж составляла 4,6 %, рентабельность активов 1,7 %, рентабельность текущих затрат 5,3 % [1].

В г. Минске значительное число новых гостиниц было построено к чемпионату мира по хоккею в 2014 г. Специально к чемпионату было открыто 13 гостиниц. Это были в основном четырех и трехзвездочные гостиницы («Ренессанс», «Виктория Олимп», «BonHotel», «Green City Hotel» и др.) и несколько гостиниц эконом-класса (Sport Time, Hotel Time и др.). На рынке гостиничных услуг г. Минска за последние годы увеличилось число отелей, входящих в крупнейшие гостиничные цепи. В 2015 г. открыт отель «Hilton», 10 отелей открытых в 2016 г., находятся под управлением международных операторов.

Изучая рынок гостиничных услуг, следует выявить некоторую проблему функционирования гостиниц. Одной из проблем является оптимизация управления с помощью внедрения новых информационных систем.

Для оптимизации управления гостиничного бизнеса можно использовать OpenERP систему. Платформа Odoo(OpenERP) – профессиональная система управления ресурсами предприятия (enterprise resource planning system). OpenERP – система ERP с открытым исходным кодом, используемая как большими, так и маленькими и средними предприятиями.

Odoo является модульной системой и состоит из более 200 приложений, решающих различные задачи: управление продажами; управление складом; бухгалтерия; финансовый учет; управление транспортом; подбор персонала; конструктор web-сайтов.

Все модули интегрированы между собой: единые справочники товаров; единые справочники контрагентов; единый интерфейс для всех модулей.

Установка приложений осуществляется настолько просто, что может выполняться обычным пользователем с правами администратора.

Для гостиничного бизнеса могут быть использованы следующие модули:

- Интегрированное управление запасами: получать информацию о продажах в режиме реального времени, иметь возможность мгновенно оценивать запасы и делать достоверные прогнозы и заказы поставщикам.

- Проект: общаться с командой и клиентами в режиме реального времени. Решать первоочередные вопросы в онлайн-чатах, обмениваться документами, комментировать задачи. Функция отслеживания поможет мониторить ход обсуждения и во время включиться в решение серьезного вопроса.

- Управленческий учет: модуль учета Odoo простой и понятный, в нем есть все необходимое для управления гостиниц. Менеджеры без помощи бухгалтеров получают информацию о расчетах с поставщиками и покупателями.

Склад: Уменьшение временных затрат на операции, автоматические транзакции, уменьшение и оптимизация складских запасов, полная отслеживаемость всех операций – доля возможностей системы управления складом Odoo.

- Автопарк: OpenERP позволяет управлять всеми автомобилями на протяжении всего цикла: от первого контакта с лизинговыми компаниями до обслуживания, ремонта и учета назначений как для собственного, так и для арендованного транспорта. Мы можем учитывать элементы при помощи интерфейса: топливные журналы, затраты, техосмотры, что необходимо для эффективного управления транспортными средствами.

- Сотрудники: обмен знаниями, подбор персонала, учет рабочего времени, договоры с сотрудниками, посещаемость, расчет заработной платы, Odoo предоставляет различные способы контроля важной информации о сотрудниках. Вся необходимая информация о коллегах всегда под рукой. Кроме того, можно управлять договорами с сотрудниками и устанавливать напоминания об окончании срока их действия.

- Продажи (CRM). Данный модуль позволяет управлять клиентами, контактами, сделками, каталогами товаров, прайс-листами гостиницы.

- Онлайн-поддержка: В OpenERP встроенный онлайн-помощник и чат, позволяющий общаться с посетителями в реальном времени. Не требуется покупать услуги, ставить дополнительный сервер, интегрировать одно с другим. Окно помощника появится при входе посетителя на сайт гостиницы. Предоставляется посетителям информация самым оптимально быстрым и простым способом – в ходе непосредственного общения.

- План мероприятия и список выступлений: разработанная программа для каждого мероприятия автоматически публикуется на его странице. Посетителям будет легко найти в ней нужное выступление или докладчика, используя фильтры по докладчикам, темам, тегам, расположению, времени.

- Заметки: работа становится эффективнее при помощи списков дел и заметок: от личных дел и до совместных заметок на совещании. Мы можем повышать производительность труда сотрудников гостиницы, давая им правильные инструменты, для того, чтобы определить приоритеты работы, поделиться идеями.

- Многоязычность: сайт гостиницы представлен на разных языках. Для каждого клиента будет показываться наиболее подходящий вариант перевода. Профессиональный перевод будет создаваться автоматически с использованием интеграции с сервисом Gengo. Когда мы будем вносить изменения на Мастер-странице, они автоматически отразятся в переводах в течение некоторого времени.

- Автоматическое выставление счетов: мы можем задать правила, по которым автоматически будут выставляться счета клиентам на основе трудозатрат сотрудников в определенном проекте.

Odoо выглядит привлекательнее конкурентов, так как:

1. Обширное количество модулей, которые уже интегрированы между собой. Можем найти в каталоге приложений все, что требуется.

2. Быстрый старт. Установка и первичная настройка Odoо может занять не более 1 дня.

3. Есть локализация на русском языке.

4. Открытый код. Это преимущество для тех гостиниц, которые не будут затрачивать много денежных средств для найма профессионального программиста.

Внедрение Odoо:

- обследование процессов Заказчика, формирование команды проекта;
- разработка Технического задания, документирование требований к проекту внедрения;

- установка и настройка Odoо довольно быстрая;

- доработка и кастомизация модулей, подготовка данных к миграции;

- описание новых процессов, создание инструкций и нормативных документов;

- подготовка пользователей к работе с ERP;

- пробное внедрение, учет ошибок;

- перенос данных, запуск новых процессов.

Сформулируем основные выводы: для лучшего управления объектом гостиничного бизнеса можно предложить внедрение OpenERP-системы. Данная система позволит оптимизировать управление персоналом гостиницы, включить средства управления взаиморасчетами, финансами, складом, автопарком, временем, корпоративным сайтом. За счет открытого программного кода OpenERP дает возможность пользователям выбрать предпочитаемый способ ее использования. OpenERP-система является хорошей альтернативой известным ERP-системам для управления малым и средним предприятием гостиничной сферы, в первую очередь за счет своей относительно не высокой стоимости, предоставляя полностью автоматизированные переходы и обновления системы.

Л и т е р а т у р а

1. Статистический сборник Республики Беларусь : стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – 435 с.
2. Актуальные проблемы и перспективы развития индустрии гостеприимства // Актуальные проблемы развития индустрии гостеприимства на современном этапе : сб. науч. тр. по материалам X междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : СПбГЭУ, 2014. – 159 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА ТУРИСТИЧЕСКОГО БРЕНДА

К. И. Москаль, Е. А. Казак

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Е. Н. Карчевская

В современных условиях необходимо формировать имидж и бренд региона, поскольку позитивный имидж и сильный бренд являются гарантом обеспечения конкурентоспособности территории. Формирование имиджа, бренда и его продвижение являются одной из стратегических задач. Практическая значимость инструментария формирования имиджа и бренда региона обусловила повышенный интерес к данному вопросу не только практиков, но и деятелей науки, поскольку реализация задач построения позитивного и укрепления позиций бренда региона невозможна без знания методических основ их осуществления. В статье рассматриваются методические аспекты анализа туристического бренда. Представленные результаты могут быть использованы для поиска наиболее эффективных инструментов формирования имиджа и бренда территории.

Цель работы – на основе существующих методик анализа бренда [1] предложить свой набор показателей, который будет подходить для анализа туристического бренда.

В ходе исследования были выявлены основные методики и показатели анализа бренда, что позволило сформировать свой набор показателей для анализа туристического бренда (табл. 1–7).

Таблица 1

Показатели анализа бренда

Показатель	Авторы, выделяющие показатель в качестве основного при анализе бренда	Методы анализа бренда, в которых используется показатель
Показатель приверженности бренду	Амблер, 2003; Шарков, 2004 и др.	Модель преобразования, определение стоимости бренда
Показатель воспринимаемого качества бренда	Лейни, 2008; Аакер, 2011 и др.	Ценность бренда, движение акций
Показатель осведомленности о бренде	Домнин, 2009; Келлер, 2008 и др.	Определение стоимости бренда, модель преобразования
Рыночная доля	Головко, 2009; Аакер, 2011 и др.	«Индекс силы марки»
Показатель восприятия и узнаваемости имиджа бренда	Келлер, 2008; Аакер, 2011 и др.	Предсказание стратегии бренда
Показатель правовой защиты бренда	Домнин, 2009; Захаренко, Садриев, 2009 и др.	«Индекс рыночной силы бренда»
Показатель лидерства бренда	Аакер, 2011	«Индекс рыночной силы бренда»
Показатель понимания позиции бренда	–	Предсказание стратегии бренда

Окончание табл. 1

Показатель	Авторы, выделяющие показатель в качестве основного при анализе бренда	Методы анализа бренда, в которых используется показатель
Показатель индивидуальности бренда	Аакер, 2011	Предсказание стратегии бренда
Уровень известности рекламы бренда	Домнин, 2009	Определение стоимости бренда

Таким образом, наиболее развернутый анализ бренда у Д. Аакера, его основные используемые критерии – показатель воспринимаемого качества бренда, рыночная доля, показатель лидерства бренда, показатель восприятия и др. Предпочтение отдается методам анализа – «Ценность бренда», «Индекс силы марки», «Индекс рыночной силы бренда».

Таблица 2

Показатели Д. Аакера, подходящие для анализа туристического бренда

Описание набора показателей Д. Аакера	Оценка
Ценовая премия	–
Удовлетворенность потребителя	+
Качество бренда	+
Лидерство бренда	+
Ценность бренда	–
Индивидуальность бренда	+
Ассоциации с брендом	+
Осведомленность о бренде	+
Доля рынка	–
Рыночная цена	–
5+ 4–	

Проанализировав табл. 2, можно сделать вывод, что у Д. Аакера наиболее приемлемыми для анализа бренда являются показатели: удовлетворенность потребителя, качество бренда, лидерство бренда, индивидуальность бренда, ассоциации с брендом, осведомленность о бренде.

Таблица 3

Показатели К. Л. Келлера, подходящие для анализа туристического бренда

Описание набора показателей К. Л. Келлера	Оценка
Показатели осведомленности потребителей о бренде	+
Показатель качества	+
Показатель имиджа бренда	+
Коммерческие показатели	–
3+ 1–	

У К. Л. Келлера подходящими для анализа бренда являются показатели: показатели осведомленности потребителей о бренде, показатель качества, показатель имиджа бренда.

Таблица 4

Показатели метода EquiTrend, подходящие для анализа туристического бренда

Описание набора показателей метода EquiTrend	Оценка
Заметность	–
Качество бренда	+
Удовлетворенность пользователя	+
2+ 1–	

По методу EquiTrend оптимальными для анализа бренда являются показатели: качество бренда, удовлетворенность пользователя.

Таблица 5

Показатели метода «индекс рыночной силы бренда», подходящие для анализа туристического бренда

Описание набора показателей метода «индекс рыночной силы бренда»	Оценка
Рынок	+
Стабильность	+
Лидерство бренда	+
Интернациональность	+
Тенденции	+
Поддержка	–
Защита	–
5+ 2–	

Из метода «индекс рыночной силы бренда», наиболее приемлемыми для анализа бренда являются показатели: рынок, стабильность, лидерство бренда, интернациональность, тенденции.

Таблица 6

Показатели метода Brand Asset Valuator, подходящие для анализа туристического бренда

Описание набора показателей метода Brand Asset Valuator	Оценка
Дифференциация	–
Релевантность	+
Уважение	+
Понимание	+
3+ 1–	

Из метода Brand Asset Valuator подходящими для анализа бренда являются показатели: релевантность, уважение, понимание.

Таблица 7

Показатели метода ROBI 8, подходящие для анализа туристического бренда

Описание набора показателей метода ROBI 8	Оценка
Осведомленность о бренде	+
Понимание позиции марки	–
Узнаваемость бренда	+
Выполнение марочного контракта	–
Роль бренда в привлечении покупателей	–
Роль бренда для потребителей	–
Проникновение на рынок	–
Стоимость бренда	–
2+ 6–	

Из метода ROBI 8 оптимальными для анализа бренда являются показатели: осведомленность о бренде, узнаваемость бренда,

В соответствии с этими наборами показателей была разработана методика анализа туристического бренда: осведомленность о бренде, качество бренда, лидерство бренда, тенденции, узнаваемость бренда.

Л и т е р а т у р а

1. Соловьева, Д. В. Маркетинговый анализ позиции бренда на рынке: комплексный метод / Д. В. Соловьева, С. В. Афанасьева // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. Менеджмент. – 2013. – Вып. 1. – С. 31–68.

СЕКЦИЯ VIII ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЧЕВЫХ РАССТРОЙСТВ ПРИ ПОМОЩИ ГОЛОСОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

П. А. Меньшаков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. А. Мурашко

В настоящее время голосовая идентификация и анализ голоса являются одним из передовых направлений как в области систем защиты информации, так и в определении голосовых параметров [1].

Предлагается рассмотреть способ анализа состояния голоса и выявления его проблем, таких как усталость голосовых связок, повреждение или воспаления речевого тракта, при помощи ранее записанного голоса диктора и нейросетевого анализа голосовых изменений.

Оценка нарушения голоса включает использование оценки множественных характеристик речи (степень дыхания, напряжение, шероховатость). Одна из проблем, связанных с использованием многомерных данных, – их сравнение. Для выполнения сравнения и классификации предлагается использовать самоорганизующуюся карту Кохонена. Ввиду возможности обучения без учителя она не нуждается в целевом векторе для выходов и, следовательно, не требует сравнения с predetermined идеальными ответами, а обучающее множество состоит лишь из входных векторов. Процесс обучения выделяет статистические свойства обучающего множества и группирует сходные векторы в классы. Предъявление на вход вектора из данного класса даст определенный выходной вектор.

Аппаратная реализация. Первоначальным этапом является получение эталонного голоса диктора. Для этого необходим микрофон, фильтр и аналого-цифровой преобразователь для дальнейшей работы с цифровой записью голоса [2].

С выхода микрофона сигнал подается на вход блока фильтрации. Следующим этапом является прохождение АЦП.

Далее оцифрованный сигнал попадает в блок цифровой обработки. В блоке цифровой обработки сигнал фильтруется и преобразуется в вектор, с которым в дальнейшем будет работать микропроцессор и нейросетевой обработчик.

Также полученный вектор заносится в энергонезависимую память. Это необходимо для последующего сравнения с полученным отпечатком.

Далее при работе с устройством диктор вводит текущую голосовую запись и при помощи микропроцессора и нейросетевого обработчика производится анализ отклонений голоса и вывод информации на экран. Общая схема устройства представлена на рис. 1.

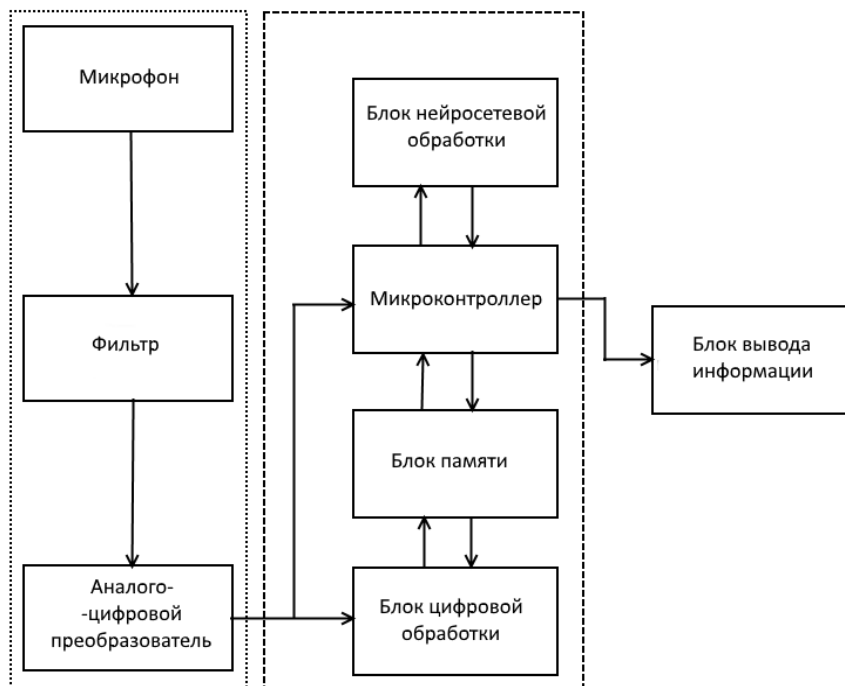


Рис. 1. Схема устройства

Анализ нарушения речи. В исследовании, проведенном Leinonen Et Al., для замены непосредственного прослушивания голоса была создана шкала оценок различных степеней и форм дисфонии. Для сравнения критериев использовалась нейронная сеть без учителя, обучение которой было проведено с использованием перцепционной карты оценок нормального и дисфонического голоса [3]. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

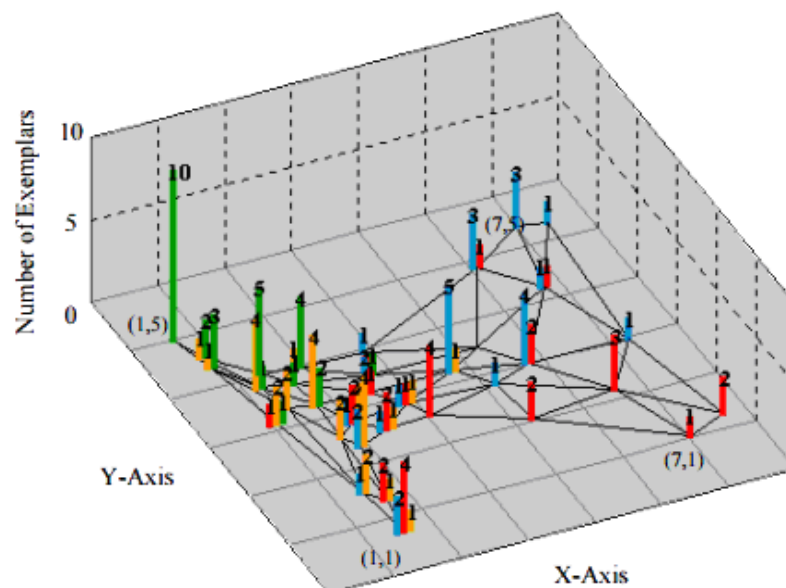


Рис. 2. Результаты определения дисфонии голоса (зеленый – нормальный голос, желтый – гипотонусная, красный – гипертонусная, синий – спазматическая)

У данного подхода имеется несколько недостатков:

– отсутствие сравнительной характеристики с предыдущим состоянием голоса. Ввиду данного недостатка невозможно отделить врожденные нарушения от приобретенных;

– отсутствие возможности диагностирования нескольких расстройств одновременно.

Классификация различных форм и степень дисфонии может быть произведена путем использования не только перцепционных оценок патологии, шероховатости, дыхания, напряжения и астении, но и сверкой данных оценок с предыдущим значением, путем включения голосового отпечатка с симуляцией той или иной степени заболевания в качестве входных параметров.

Таким образом, необходимо произвести следующий ряд действий:

– получить голосовую запись диктора;

– коррекция голоса в соответствии с таблицей оценок [3], [4];

– получение голосовых отпечатков из скорректированных голосовых записей;

– обучение нейронной сети с использованием модифицированных голосовых отпечатков [5];

– ввод текущего голоса и нейросетевое сравнение с имеющимися отпечатками.

Заключение. Голосовой отпечаток может быть использован не только для средств контроля доступа, но и для оценки голосовых отклонений диктора. Очевидное преимущество данного подхода заключается в отсутствии непосредственного контакта с диктором и возможности удаленной диагностики, включая использование электронных средств связи. Также данная процедура имеет возможность полной автоматизации и нетребовательна к ресурсам.

Литература

1. Introduction to digital audio coding and standards / M. Bosi, R.E. Goldberg – Springer Science+Business, Media USA. – 2003. – 434 p.
2. AudioCoding: Theory and Applications / Y. You. – NY: Springer, 2010. – 349 p.
3. In Raymond D. Kent and Martin J. Ball Editors: Voice Quality Measurement, Singular: San Diego (2000). – P. 103–116.
4. Using self-organizing maps to cluster music files based on lyrics and audio features / Research Congress 2013 De La Salle University, Manila, March 7-9, 2013.
5. Kohonen, T. (2001). Self-Organizing Maps. Berlin: Springer.

ALGORITHM FOR LOW POWER XOR GATE DECOMPOSITION

Peeyush Barskar

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Scientific Adviser I. A. Murashko

Abstract. An analysis algorithm for the power consumption of a multi-input "exclusive-OR" gate, based on two, three, four and five-input XOR elements, is presented for the case when changes in logic levels at the inputs of the gate occur principally at different instants of time. The upper and lower bounds of the switching activity for different variants of realization of a multi-input XOR gate are obtained.

Introduction. Currently, due to rapid progress in the field of semiconductor integrated circuit technology, in particular the transition to nano-electronic technologies, new tasks arise for the logical synthesis of computing devices implemented on the basis of these technologies. One of such tasks is the development of methods for designing digital

devices with low power consumption. The urgency of this task is determined by the following main factors; the presence of many applications (portable personal computers, mobile communications, digital audio and video equipment), which must combine high speed with low power consumption; the need to reduce the level of energy consumption in order to achieve the necessary duration of autonomous work; the need to reduce the power consumption to solve the problem of heat dissipation, as this determines the weight and size of the devices; the need to reduce power consumption in order to solve the problem of performing effective testing of digital devices [1] (studies show that during testing, power consumption, and accordingly, dissipated power, can increase two to three times). Power consumption can be found so [2]:

$$P = 0,5V_{dd}^2 f_{CLK} \sum_{i=1}^n C_i^L WSA_i,$$

where C_i^L is the physical capacitance at the output of the node, V_{dd} is the supply voltage, WSA (referred to as the switching activity) is the average number of output transitions per clock cycle, f_{CLK} is the clock frequency, n is a number of nodes. We assume the zero delay models where gate delays are assumed to zero. Also we assume that load capacitance of every nodes is equal. We also assume that supply voltage and clock frequency is constant. Thus we must calculation switching activity for every node for estimation of power consumption circuits.

Algorithm for minimum switching activity. Power consumption at algorithm for switching activity related to properties of that particular algorithm techniques. So it should carefully selected for lowering the power consumption. For lowering the power, algorithm should be such that it should minimum number of switching requirements. That algorithm is more useful which have minimum number of operation because it will require less hardware. By increasing concurrency we can increase efficiency of that device.

In the past we synthesis of two-input XOR gate for minimum switching activity but we propose a novel low power Multi-input Algorithm for Switching Activity Reduction through operand decomposition [3]. For simplicity throughout this paper, we are proposing new algorithm to any type of d -input XOR gates, minimum switching activity following recursive algorithm can be used: To synthesize a multi-input XOR gate with a minimum switching activity, the following recursive algorithm can be used:

1. Find the output switching activity $WSA_{out} = nx$.
2. Imagine the output switching activity as a sum of n numbers $WSA_{out} = n_1 + n_2 + \dots + n_d$ in such a way that the following restrictions are fulfilled:
 - 2.a – every time output (root node) divided by d number of child's node,
 - 2.b – all numbers are shareable by x in form of natural numbers,
 - 2.c – in the values of these numbers must be equal or different combination by d in the amount of x . Let n is number of inputs multiple-input XOR gate, d is input type of XOR gate, i is natural number (1,2,3...), which is needed for modular arithmetic. Then we are following below table to finding combination of particular nodes input (table).
 - 2.d – we are using above table to find input switching activity for child node in combination of d numbers, in this combination we are searching for greater or equal input value as like; ($n_1 \geq n_2 \geq \dots \geq n_d$). Then we are using largest input switching activity value to subtract remaining all input switching activities value to fulfill this condition ($|n_1 - n_2 - \dots - n_d| = 0$ or $|n_1 - n_2 - \dots - n_d| = x$).

Formulas for finding child nodes input switching activity

WSA _{out}									
<i>d</i>	4				3			2	
<i>n</i>	3*i+1				2*i+1			i+1	
<i>i mod d</i>	1	2	3	0	1	2	0	1	0
<i>n_i</i>	[<i>n/d</i>]	[<i>n/d</i>]	[<i>n/d</i>]	[<i>n/d</i>]	[<i>n/d</i>]+1	[<i>n/d</i>]+1	[<i>n/d</i>]	[<i>n/d</i>]	[<i>n/d</i>]
<i>n₁</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i-1</i>	<i>n_i+1</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i-1</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i</i>
<i>n₂</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i-1</i>	<i>n_i+1</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i+1</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i+1</i>
<i>n₃</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i</i>	<i>n_i+2</i>	<i>n_i+1</i>	<i>n-n₁-n₂</i>	<i>n-n₁-n₂</i>	<i>n_i</i>	-	-
<i>n₄</i>	<i>n_i</i>	<i>n-n₁-n₂-n₃</i>	<i>n_i+2</i>	<i>n-n₁-n₂-n₃</i>	-	-	-	-	-

3. If $n_1 (n_2, \dots, n_d)$ is equal to 0 or x , then the algorithm's work ends for it, otherwise $WSA_{out} = n_1 (SWA_{out} = n_2, \dots, n_d)$ and for this value we repeat steps 2 and 3 of the algorithm.

Illustration. When searching for switching activity value, the algorithm needs to know the associated basic input switching activity (x) and explores the network in several steps. Each step will find nodes that are closer to the x until the contacted node value zero or equal in fig. 1.

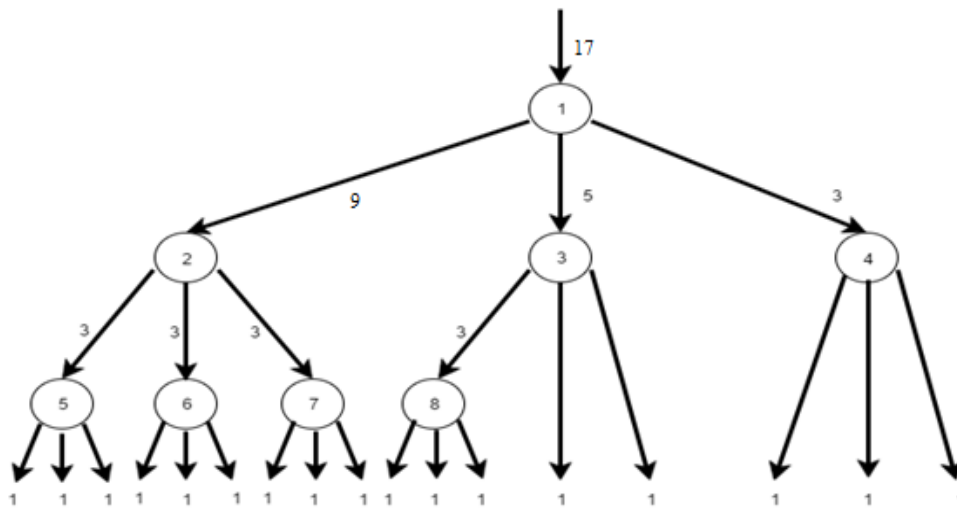


Fig. 1. Example for decomposition 17-input XOR gate with type of three-input XOR gates with minimal switching activity

We create tree is a (possibly linear) data structure made up of nodes or vertices and edges without having any cycle. Then the tree that is consists of a root node and potentially many levels of additional nodes that form a hierarchy. Then we assume root node is output switching activity, we back down root node to child node and we compare to input switching activity that time it is equal to x or zero, we quit this process another voice child node converse notion of a parent and repeat this process.

In this example we used design of a 17-input XOR gate ($n=17$) type of 3-input ($d=3$) with a minimum switching activity is shown in figure. Let the switching activity of all inputs x be the same and equal to 1. Then:

1. Find the switching activity of the output $WSA_{out} = nx = 17*1=17$ (Fig. 1).
- 1.2. Imagine $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3$. Taking into account table 1 to finding combination of this nodes input switching activity, we obtain $n_1 = 9$, $n_2 = 5$ and $n_3 = 3$ (node 1 in Fig. 1).
- 1.3. The values of n_1 , n_2 and n_3 is not equal to 1, so for each of them we repeat steps 2 and 3: $WSA_{out} = n_1 = 8$.
- 2.2. Imagine again $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3 = 3+3+3$ (for node 2 in Fig. 1).
- 2.3. This three $n_1 = 3$, $n_2 = 3$ and $n_3 = 3$ is not equal to 1, so for each of them we repeat steps 2 and 3: $WSA_{out} = n_1 = 3$.
- 5.2. Imagine once more time $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3 = 1+1+1$ (node 5 in Fig. 1).
- 5.3. All values are equal to 0 and 1, so for them the algorithm's work ends.
 $WSA_{out} = n_2 = 3$.
- 6.2. Imagine $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3 = 1+1+1$ (node 6 in Fig. 1).
- 6.3. All values are equal to 1, so for them the algorithm's work ends.
 $WSA_{out} = n_3 = 3$.
- 7.2. Imagine $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3 = 1+1+1$ (node 7 in Fig. 1).
- 7.3. All values are equal to 1, so for them the algorithm's work ends.
 $WSA_{out} = n_2 = 5$.
- 3.2. Imagine $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3 = 3+1+1$ (node 3 in Fig. 1).
- 3.3. The values of n_1 is not equal to 0 or 1, so for it n_1 we repeat steps 2 and 3. n_2 and n_3 are equal to 0 and 1, so for them the algorithm's work ends.
 $WSA_{out} = n_1 = 3$.
- 8.2. Imagine $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3 = 1+1+1$ (node 8 in Fig. 1).
- 8.3. All values are equal to 1, so for them the algorithm's work ends.
 $WSA_{out} = n_3 = 3$.
- 4.2. Imagine $WSA_{out} = n_1 + n_2 + n_3 = 1+1+1$ (node 4 in Fig. 1).
3. All values are equal to 1, so for them the algorithm's work ends.

Conclusion. The paper analyzes the power of multi-input XOR with d type gate. Here we reviewed the different low power algorithm at each level of XOR gate design. It is shown that the implementation of multi-input gate in the cell, XOR is a significant increase in switching activity, which leads to an increase in energy consumption. We use particular algorithm according to specification. Presented algorithm synthesis of multi-gate, which minimizes the buildup of a cart-switching activity and provides examples of minimum implementation.

References

1. Yarmolik V., Murashko I. A peak-power estimation for digital circuits design // Fifth International Conference «New Information Technologies» October 29–31, 2002. – Minsk : BSEU, 2002. – P. 34–38.
2. Zhou H., Wong D. F. Optimal Low Power XOR Gate Decomposition. – Design Automation Conference IEEE, 06 August 2002. – DOI: 10.1109/DAC.2000.855286.
3. Murashko I. Power consumption analysis of XOR based circuits. – Informatics. – 2006, № 1 (9). – P. 97–103. [In Russian]

ВЕРОЯТНОСТНО-АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСВЯЗНОЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

М. А. Бужан, Ю. В. Жердецкий

*Учреждение образования «Гомельский государственный
университет имени Ф. Скорины», Республика Беларусь*

Научный руководитель Е. И. Сукач

Многосвязные сетевые структуры рассматриваются как единое целое, включающее совокупность изменяющихся элементов, которые характеризуются следующими свойствами:

1. Каждый элемент структуры содержит произвольное число направленных связей с другими элементами (или ссылок на другие элементы).
2. С каждым элементом может связываться произвольное число других элементов (т. е. каждый элемент может быть объектом ссылки произвольного числа других элементов).
3. Каждая связь в структуре имеет не только направление, но и вес.

Многосвязная сетевая структура эквивалентна взвешенному ориентированному графу общего вида. Так, например, электроэнергетические сети в электроэнергетике, сети автомобильных дорог, компьютерные сети в информатике и многие другие объекты представляются в виде больших сетевых структур и поэтому совершенно оправданно применение методов теории графов к моделированию и исследованию характеристик этих разнообразных сетевых структур.

Одной из действующих методик оценки вероятностных характеристик надежности многосвязных структур с множеством входов и выходов, представленных в виде графов, является расчет надежности систем, разработанный в рамках вероятностно-алгебраического подхода и позволяющий оценить вероятностные характеристики показателей надежности системы по вероятностным характеристикам показателей надежности ее элементов [1].

Графом задается структура системы. Связи между элементами многосвязной сетевой структуры задаются ребрами графа, количество которых изменяется при случайном характере взаимодействия элементов, что позволяет по установившимся состояниям исходных элементов определить вектор возможных состояний системы и их вероятности. Они позволяют судить об изменении надежности системы в процессе ее эксплуатации, определять режим ее безотказного функционирования и стратегию динамического управления параметрами надежности элементов. То есть в результате расчетов можно сделать заключение о том, будет ли система работать и оценить вероятность надежной работы.

При оценке надежности многосвязной сетевой структуры, представленной графом, следует помнить, что выбрано в качестве структурных элементов: ребра или вершины. При этом возможны две схемы формализации: «элементы-вершины» и «элементы-ребра».

На основании применения методологии вероятностно-алгебраического моделирования был написан программный комплекс для оценки надежности многосвязной сетевой структуры. Работу программного обеспечения можно продемонстрировать на примере.

В качестве объекта исследования была выбрана электроэнергетическая сеть одного из районов Гомельской области. Путем замены структурных элементов электроэнергетической сети на графические примитивы и используя теорию вероятностного модели-

рования, имеем граф, представленный на рис. 1, который имеет 36 вершин, 4 из которых являются терминальными и описывают следующую систему, т. е. $N = \{N_v\}, v = \overline{1,36}$, $K = \{K_i\}, i = \overline{1,44}$. Система формализуется как четырехполюсник. Она имеет два входа $N_1, N_2 \in N$ и два выхода $N_3, N_4 \in N$.

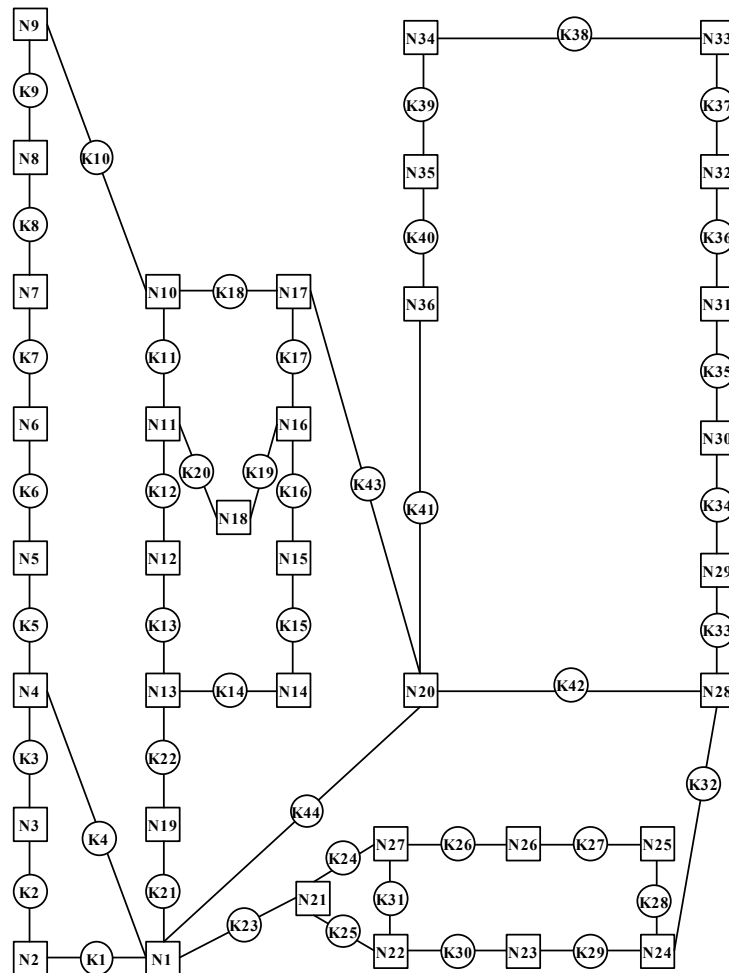


Рис. 1. Граф электроэнергетической сети района Гомельской области

Ввиду того, что представленная модель электроэнергетической системы является примером, позволяющим продемонстрировать возможности разработанного математического аппарата, исходные данные (значения векторов) были выбраны в рабочей точке области параметров элементов, выделенных в процессе формализации объекта исследования (табл. 1).

Решалась задача оценки надежности электроэнергетической системы, функционирующей в условиях риска и неопределенности, по структурным элементам (трансформаторам и т. п.).

В качестве характеристик надежности элементов при оценке надежности организации участков электроэнергетической системы учитывались вероятности отказов, возникающих в ходе передачи электроэнергии. В результате проведения серии экспериментов с использованием разработанного программного обеспечения были получены результирующие значения векторов вероятностей состояний надежности

электроэнергетической системы, формализованной в виде структуры четырехполюсника. В качестве элементов структуры были рассмотрены объекты, представленные в табл. 1, которым при формализации были поставлены в соответствие ребра графа модели.

Таблица 1

Показатели надежности элементов электроэнергетической системы

Элемент электроэнергетической системы	Вероятностный показатель характеристики работоспособности	Вероятностный показатель характеристики отказа
Трансформатор обмоточный	0,9000	0,1000
Разъединитель заземляющий	0,8985	0,1015
Разъединитель	0,8970	0,1030
Автотрансформатор	0,8745	0,1255
Потребитель электроэнергии 1-10	0,8730	0,1270
Линия электропередачи подземная	0,8625	0,1375
Линия электропередачи воздушная	0,8910	0,1090

Таблица 2

Вероятностные оценки результирующих состояний графа модели электроэнергетической системы, формализованной в виде четырехполюсника

Состояния системы	Вероятностные оценки	Состояния системы	Вероятностные оценки	Состояния системы	Вероятностные оценки
S1	6,75796890258 788E-6	S6	0,00246567871 856689	S11	4,239089584 35058E-5
S2	4,23908958435 058E-5	S7	0,00026590652 84729	S12	0,000265906 5284729
S3	4,23908958435 058E-5	S8	4,23908958435 058E-5	S13	0,122465678 71856689
S4	4,23908958435 058E-5	S9	0,00026590652 84729	S14	0,122465678 71856689
S5	4,23908958435 058E-5	S10	0,00246567871 856689	S15	0,749078462 19635

При высоких значениях вероятностей показателей надежности элементов электроэнергетической сети наибольшую вероятность имеет последнее состояние системы S15, описывающее вариант, при котором четыре терминальные вершины соединены. Среди остальных состояний наибольшую вероятность имеют состояния S6, S10, S13 и S14. Остальные состояния надежности электроэнергетической системы маловероятны.

Предложенная методика расширяет свойство прогностичности моделей структурно-сложных систем, формализуемых в виде ненаправленных графов с несколькими

входами и выходами. Оценка надежности ориентированных графов, формализованных как «элементы-ребра» позволяет решать задачи оценки вероятностных характеристик надежности электроэнергетических систем на основе вероятностных состояний их элементов; получения, обоснования и оптимизации различных проектных, эксплуатационных и управленческих решений на основе результатов расчета.

Литература

1. Сукач, Е. И. Вероятностно-алгебраическое моделирование сложных систем графовой структуры / Е. И. Сукач ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – 224 с.
2. Бужан, М. А. Анализ надежности варианта организации электроэнергетической системы на основе вероятностного моделирования / М. А. Бужан // Дни студенческой науки : XLIV студен. науч. конф., Гомель, май 2015 г. / ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель, 2015. – Ч. 1. – С. 56.

3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

А. Д. Абдыев, Е. Д. Клевитская, И. И. Матюш

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель Е. Н. Савкова

Многообразие решаемых задач в контроле и испытаниях продукции с использованием информационно-измерительных систем предполагает многопараметрические исследования свойств объектов, что обуславливает необходимость разработки описательного метрологического аппарата. Понятие неопределенности тогда трактуется как геометрическое место точек в некотором функциональном пространстве свойств. Применительно к координатным измерениям ГОСТ Р 54500.3.2–2013 рекомендует использовать математический аппарат по расчету неопределенности, основанный на представлении результата измерения как набора вектор-столбцов (модель математических ожиданий) и ковариационных матриц (модель рассеяния). В развитие данного документа авторы сделали попытку расширить видение моделей результатов измерений с учетом возможностей, предоставляемых современными 3D-технологиями для визуализации и наглядного представления неопределенности. В данном аспекте задача сводится к определению элементарного участка функционального пространства.

Классический подход. Классическое вычисление объема тела сложной формы – достаточно сложный процесс и представляет собой определенный интеграл. Предположим, что известна площадь сечения некоторого тела плоскостью перпендикулярной к оси. Эта площадь будет зависеть от положения секущей плоскости, т. е. от x : $Q = Q(x)$. Тогда объем этого тела будет интеграл от функции $Q(x)$ на отрезке $a \leq x \leq b$:

$$V = \int_a^b Q(x) dx.$$

Вычисление объема произвольного многогранника в трехмерном пространстве достаточно нетривиальная задача. Существует тривиальный подход: разбить объем на простые пирамиды и посчитать сумму этих объемов. Однако данная методика является сложной в реализации, поскольку требует больших затрат времени и не позволяет выполнять операции алгоритма в параллельном режиме [2].

Предлагаемый подход. Для целей метрологического описательного аппарата авторы предлагают использовать подход, изложенный в [3], основанный на том, что вокруг некоторой фигуры строится прямоугольная сетка, используя ее минимальные и максимальные координаты (см. позиции 1 и 2 на рис. 1, а).

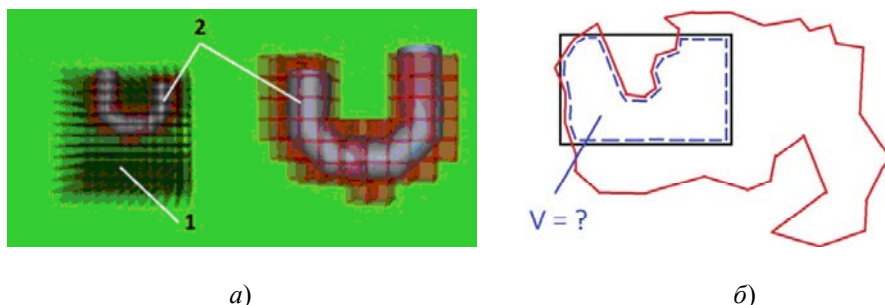


Рис. 1. Принцип определения объема тела сложной формы:
а – нанесение прямоугольной сетки; б – отображение исследуемого объема

Далее задача сводится к расчету и последующему суммированию элементарных объемов, занимаемых фрагментами в ячейках, как показано на рис. 1, б. Практически во всех случаях геометрия объекта представляет собой связанный набор треугольников с соответствующим обходом (или нормалью). Этот набор можно хранить единым массивом и обращаться к нему параллельно из каждой ячейки или выполнить предварительную обработку для всех ячеек.

Технология вычисления объема сводится к следующим этапам.

Шаг 1. Провести отсечение ячейкой сетки. Для упрощения и ускорения алгоритма отсечение производится с помощью шести образующих бокс плоскостей.

Шаг 2. Спроецировать на плоскость XOY все полигоны, образующие отсеченный меш. Вычислить объем под каждым из треугольников. Объемы вычисляются как суммы объемов трех пирамид, образующих фигуру (рис. 2, а).

Шаг 3. В зависимости от ориентации нормали частные объемы входят в сумму с разным знаком (знак скалярного произведения нормали полигона и плоскости проекции на рис. 2, б).

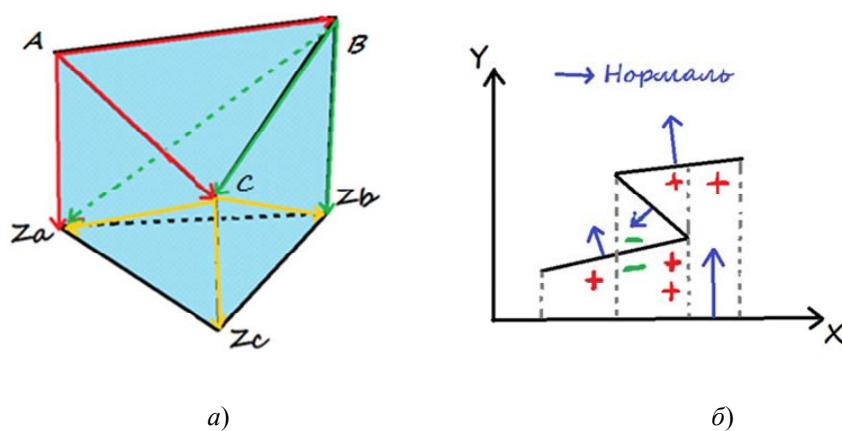


Рис. 2. Отображение объема многогранника как суммы объемов трех образующих его пирамид:
а – отображение области в виде бокса; б – расстановка знаков при вычислении объема под треугольником

Шаг 4. Вычислить площадь сечения, образованного верхней плоскостью бокса (параллельной плоскости проекции) и пространства. Для вычисления полного объема объекта внутри бокса следует не только отсечь его боксом, но и замкнуть, что является достаточно трудоемкой задачей. Для получения объема все треугольники проецируются на плоскость бокса. Следовательно, можно упростить вычисления замыканий, обработав лишь верхнюю грань, так как проекции остальных граней на плоскость бокса дают нулевую площадь.

Модификация учитывает незамкнутые случаи (полигон может пересекать ребро верхней грани бокса, в данном случае – прямоугольника). В таком случае верхнее ребро грани должно образовать замыкание двумерного полигона. Нет необходимости вычислять замыкание на всех ребрах верхней грани, а достаточно вычислить замыкание только на верхнем ребре. Таким образом, дальнейшие действия происходят на одном отрезке. В связи с такой бинарной структурой нормали можно разделить на «левые» (-1) и «правые» (+1). На рис. 3, а изображена схема вычисления замыкания на верхнем ребре. Далее ребро разбивается на отрезки и каждому отрезку в соответствии ставится число нормалей. Под числом нормалей отрезка будем понимать число нормалей, направленных от данного отрезка, минус число нормалей, направленных к данному отрезку, причем учитываются только нормали тех треугольников, которые имеют одно пересечение с ребром.

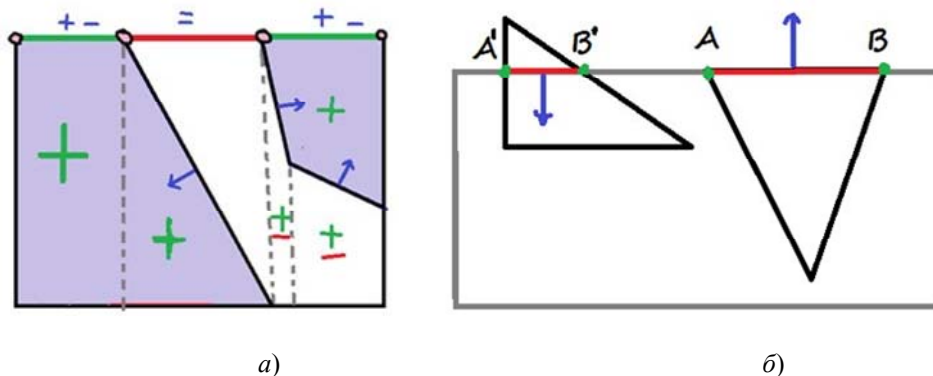


Рис. 3. Принцип вычисления элементарного пространства:
 а – схема вычисления замыкания и соответственно общей площади;
 б – пересечение треугольника и ребра на отрезке

В зависимости от реализации предыдущих шагов алгоритма могут возникать некоторые граничные ситуации (рис. 3, б). Рассмотрим случай, когда треугольник пересекается с ребром на некотором отрезке AB (больше одной точки пересечения). Необходимо «заблокировать» отрезок AB от дальнейших вычислений числа нормалей на нем, так как площадь под данным отрезком учтена, потому что этот отрезок присутствует в списке граней двумерного полигона, и невозможно спроецировать нормаль на ребро.

На первом шаге алгоритма при определении сечения меша с каждой ячейкой возникают случаи, когда сечений меша с ячейкой нет (ячейка находится либо внутри, либо снаружи). Такие ячейки необходимо пометить как пустые (свободные). Если сечение меша с ячейкой есть, то такие ячейки помечаются как занятые. Далее необходимо промаркировать свободные ячейки как входящие в объем или не входящие. Например, пометить нулем не входящие в объем ячейки или пометить значением величины объема

ячейки, если в объем входит. Для этого можно использовать один из двух алгоритмов или их комбинацию: алгоритм построчного сканирования или алгоритм рекурсивного заполнения объема. Суть первого алгоритма заключается в том, что выбирается произвольное направление (например, вдоль оси OZ) и плоскость вдоль выбранного направления. На плоскости построчно сканируется каждая строчка, представляющая собой последовательный набор ячеек вдоль выбранного направления.

Суть второго алгоритма сводится к выборке любой свободной ячейки и рекурсивному анализу соседей с их последующим добавлением в очередь для выборки. Если соседом является заполненная ячейка, то эта ячейка не включается в очередь для выборки. Как только выбрать соседа уже невозможно, вся выбранная последовательность ячеек отмечается как находящаяся в некоем объеме. Выбирается следующая случайная ячейка, и проводятся аналогичные действия. В результате все свободные ячейки маркируются как принадлежащие к определенному объему.

Заключение. Таким образом, представленный подход основан на алгоритмах быстрого вычисления объема произвольной многосегментной геометрии в пространстве. Алгоритм можно использовать, например, для определения объема нефти или газа в месторождении, а также для расчета неопределенности в многопараметрических измерениях.

Литература

1. ГОСТ Р 54500.3.2–2013. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин.
2. Интернет-ресурс. – Режим доступа: <http://blog.simmakers.ru>.
3. Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Н. С. Пискунов. – СПб. : Мифрил ; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1996. – Т. 1. – 416 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА МНЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ОБ УСЛУГАХ В СФЕРЕ ТУРИЗМА НА ОСНОВЕ ОТЗЫВОВ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Е. А. Бурдук

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. А. Мурашко

В настоящее время количество публикуемых отзывов достигает нескольких десятков тысяч и сбор информации в интернете вручную становится трудоемкой, рутинной и отнимающей много времени работой. Также активное развитие социальных сетей, форумов и блогов увеличивает интерес к задаче автоматизированного анализа мнений пользователей сети интернет по различным вопросам. В связи с этим возникает потребность в автоматическом сборе информации и автоматической оценке текста [1].

Целью этой работы является написание парсера, позволяющего осуществлять поиск отзывов об отелях, турфирмах и странах мира. Информация, полученная после работы парсера, обрабатывается и проводится анализ тональности текста, который дает возможность получить представление об эмоциональном отношении авторов к объектам, о которых идет речь в тексте.

Парсинг представляет собой обработку информации, расположенной на страницах сайтов и выделение из нее необходимых данных. Процесс парсинга выполняется

специальной программой-парсером. Программа-парсер быстро изучит большое количество сайтов, аккуратно отделит нужную информацию от программного кода и безошибочно выберет нужную информацию.

Программа парсинга позволяет пользователям сети интернет отказаться от ручной работы, отнимающей много времени на поиск отзывов о некотором объекте и предоставить требуемую информацию пользователям. Парсер предоставляет информацию в определенном виде, который также задается разработчиком программы.

Весь процесс парсинга можно разделить на несколько этапов:

- 1) получение исходного кода интернет-страницы;
- 2) проведение анализа полученных данных путем извлечения требуемой информации из кода разметки;
- 3) обработка и преобразование данных в необходимый формат для дальнейшего использования;
- 4) генерация результата и его вывод в файл или на экран – завершающий этап парсинга.

Для реализации парсинга была выбрана библиотека *AngleSharp*, которая представляет собой быстрый парсер с удобным *API*. *API* построен на базе официальной спецификации по *JavaScript HTML DOM*, которая относится к *W3C* стандарту, поддерживаемого всеми современными браузерами. *DOM* описывает структуру веб-страницы в виде древовидного представления и предоставляет возможность получить доступ к отдельным элементам веб-страницы.

Для осуществления задачи эмоциональной оценки текста был использован подход на основе машинного обучения с учителем [2]. Данный подход является одним из наиболее распространенных подходов, применяемых в исследованиях. В основе этого подхода лежит обучение машинного классификатора на предварительно собранной коллекции текстов, каждому из которых заранее указывается правильный тип тональности. После чего полученная модель используется для анализа новых документов.

Для осуществления алгоритма классификации был выбран наивный байесовский классификатор, являющийся одним из самых простых в тестировании [3]. В основе наивного байесовского классификатора лежит теорема Байеса, которая позволяет определить вероятность события при условии, что произошло другое взаимозависимое событие:

$$P(c | d) = \frac{P(d | c) \cdot P(c)}{P(d)}, \quad (1)$$

где $P(c | d)$ – вероятность, что документ d принадлежит классу c ; $P(d | c)$ – вероятность встретить документ d среди всех документов класса c ; $P(c)$ – безусловная вероятность встретить документ класса c в обучающей выборке документов; $P(d)$ – безусловная вероятность встретить документ класса d в обучающей выборке документов.

Цель классификации состоит в том, чтобы понять, к какому классу принадлежит документ, поэтому нам нужна не сама вероятность, а наиболее вероятный класс. Байесовский классификатор использует оценку апостериорного максимума (*Maximum a posteriori estimation*) для определения наиболее вероятного класса. То есть необходимо рассчитать вероятности, с которыми документ принадлежит к каждому из классов и выбрать класс, обладающий максимальной вероятностью.

Данная оценка определяется по формуле (2):

$$C_{\text{map}} = \arg \max_{c \in C} = \frac{P(d | c) \cdot P(c)}{P(d)}, \quad (2)$$

где C_{map} – оценка апостериорного максимума.

Необходимо рассчитать вероятность для всех классов и выбрать тот класс, который обладает максимальной вероятностью.

Байесовский классификатор представляет документ как набор слов вероятности, которые условно не зависят друг от друга. Исходя из этого предположения, условная вероятность документа аппроксимируется произведением условных вероятностей всех слов, входящих в документ:

$$P(d | c) \approx P(\omega_1 | c)P(\omega_2 | c) \dots P(\omega_n | c) = \prod_{i=1}^n P(\omega_i | c), \quad (3)$$

где $P(\omega_i | c)$ – условные вероятности всех слов входящих в документ.

Оценка вероятностей и $P(c)$ и $P(\omega_i | c)$ осуществляется на обучающей выборке. Вероятность класса можно оценить по формуле (4):

$$P(c) = \frac{D_c}{D}, \quad (4)$$

где D_c – количество документов, принадлежащих классу c ; D – общее количество документов в обучающей выборке.

Оценка вероятности слова в классе определяется по формуле (5):

$$P(\omega_i | c) = \frac{W_{ic}}{\sum_{i' \in V} W_{i'c}}, \quad (5)$$

где W_{ic} – описывает, сколько раз слово встречается в файлах класса c ; $W_{i'c}$ – количество слов во всех документах класса c .

Если на этапе классификации встречается слово, которого нет в обучающей выборке, то значения, а следственно W_{ic} и $P(\omega_i | c)$, будут равны нулю. Это приведет к тому, что документ с этим словом нельзя будет классифицировать, так как он будет иметь нулевую вероятность по всем классам.

Типичным решением проблемы неизвестных слов является аддитивное сглаживание (сглаживание Лапласа). Идея заключается в том, что необходимо прибавить единицу к частоте каждого слова:

$$P(\omega_i | c) = \frac{W_{ic} + 1}{\sum_{i' \in V} (W_{i'c} + 1)} = \frac{W_{ic} + 1}{|V| + \sum_{i' \in V} W_{i'c}}. \quad (6)$$

Логически данный подход смещает оценку вероятностей в сторону менее вероятных исходов. Таким образом, слова, которых нет на этапе обучения модели, получают пусть маленькую, но не нулевую вероятность.

Разработанное приложение позволяет пользователю получить информацию об отелях, турфирмах и турах на основе мнений, составленных другими пользователями сети интернет.

Результат работы приложения был протестирован на отзывах, взятых с сети интернет об услугах в сфере туризма. Каждый отзыв был оценен по шкале от –10 до 10 и пользователю был представлен результат оценки. Приложение позволяет пользователям получать требуемую информацию быстро, не затрачивая на это свое время.

Литература

1. Pang, B. Opinion Mining and Sentiment Analysis / B. Pang, L. Lee. – Philadelphia: Now Publishers Inc, 2008. – P. 35–80.
2. Heerschoop, B. Polarity analysis of texts using discourse structure / B. Heerschoop, F. Goossen, A. Hogenboom // Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and knowledge management. – 2011. – P. 1061–1070.
3. Осокин, В. В. Анализ тональности русскоязычного текста / В. В. Осокин, М. В. Шегай // Интеллектуал. системы. Теория и приложения. – 2014. – № 3. – С. 163–174.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОДВЕСКИ ТРАКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ UNITY

П. С. Авсейцев, Г. В. Беломутов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. А. Трохова

Эффективность применения средств и методов автоматизированного проектирования при выполнении инженерно-технических и конструкторских разработок во многом определяется качеством предварительной проработки будущего изделия. Наличие мощных вычислительных систем и пакетов не избавляет от необходимости подвергать сомнению результаты моделирования и проверять их с помощью различных вычислительных схем и методов.

При моделировании динамических технических объектов необходимо решить следующие задачи:

- получение адекватной математической модели;
- получение компьютерной модели на основе математической модели;
- визуализация результатов моделирования в графическом виде;
- 3D моделирование динамической системы в реальном времени.

В качестве предметной области выступает процесс колебаний подвески машинно-тракторного агрегата (МТА). Колебательные процессы, возникающие в МТА при перемещении по опорной поверхности пути, отрицательно влияют на плавность хода МТА и работу его узлов. Причина возникновения колебаний кроется в непостоянстве свойств почвы и характере взаимодействия МТА с грунтом.

Основные возможности приложения:

- получать функции перемещения подвески МТА после решения ОДУ в численном виде;
- визуально отображать движение МТА;
- представлять перемещение подвески в виде графика;
- исследовать влияние жесткости пружины или массы на максимальное перемещение подвески в динамическом режиме;

– исследовать влияние высоты опорной поверхности на максимальное перемещение подвески в динамическом режиме.

Инструментарием для решения поставленных задач являются следующие средства разработки:

- Unity3DEngine;
- Blender;
- DotNumerics.

Blender – свободный, профессиональный пакет для создания трехмерной компьютерной графики, включающий в себя средства моделирования, анимации, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов», а также для создания интерактивных игр. В настоящее время он пользуется наибольшей популярностью среди бесплатных 3D редакторов в связи с его быстрым и стабильным развитием, которому способствует профессиональная команда разработчиков.

При создании динамической модели колебаний МТА Blender применялся для разработки следующих графических элементов:

- корпус;
- пружина;
- демпфер;
- колесо;
- дорожное покрытие.

Эти элементы были экспортированы в файлы в формате .FBX, который по умолчанию поддерживается инструментом Unity3D.

Следующим шагом разработки модели является перенос графических объектов в Unity3D и построение дерева иерархии объектов.

Unity3D – это инструмент для разработки двух- и трехмерных приложений и игр, работающий под операционными системами Windows, Linux и OS X. Созданные с помощью Unity приложения работают под операционными системами Windows, OS X, Windows Phone, Android, Apple iOS, Linux, а также на игровых приставках Wii, PlayStation 3, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One и MotionParallax3D дисплеях. На рис. 1 приведено дерево иерархии Unity3D.

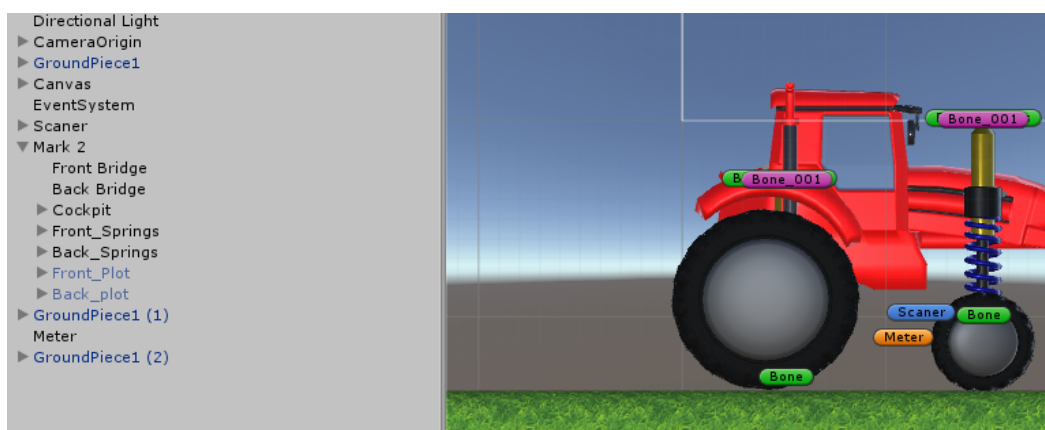


Рис. 1. Дерево иерархии зависимости

Поведение объектов контролируется с помощью компонентов Components, которые присоединяются к ним. Помимо множества встроенных в Unity стандартных компонентов, Unity позволяет создавать свои компоненты, используя скрипты. Они позволяют активировать динамические события, изменять параметры компонентов,

и отвечать на ввод пользователя каким угодно способом. С помощью скриптов реализованы следующие алгоритмы:

- алгоритм решения системы дифференциальных уравнений, являющиеся основой математической модели колебаний подвески МТА;
- алгоритм движения МТА по результатам решения дифференциальных уравнения;
- алгоритм движения графического объекта по поверхности с заданной скоростью;
- алгоритм движения и управления камерой;
- алгоритм сканирования неровности опорной поверхности;
- алгоритм построения графика согласно полученным результатам решения дифференциального уравнения;
- алгоритм динамического изменения опорной поверхности;
- алгоритм управления временем.

Скрипт, реализующий алгоритм движения графического объекта по поверхности с заданной скоростью, реализуется посредством создания нового вектора для следующего кадра. Новый вектор получен в результате увлечения собственного числового значения, увеличенного на скоростную константу.

Скрипт сканирования неровности поверхности реализуется с помощью результатов отклика вертикального лазера (массив неровностей), выпущенного из объекта сканера к опорной поверхности.

Основные возможности приложения приведены ниже:

- получать функции перемещения подвести МТА после решения ОДУ в численном виде.
- визуально отображать движение МТА;
- представлять перемещение повестки в виде графика;
- исследовать влияние жесткости пружины или массы на максимальное перемещение подвески в динамическом режиме;
- исследовать влияние высоты опорной поверхности на максимальное перемещение подвески в динамическом режиме.

На рис. 2 приведен результат динамического моделирования при переезде неровности типа «выступ».



Рис. 2. Результат динамического моделирования при переезде неровности типа «выступ»

Исследования показали, что существует возможность разработки трехмерной модели технического объекта, основанной на математической модели в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений, в таких системах компьютерной графики, как Unity.

Модель наглядно показывает характер колебательных процессов в подвеске трактора в реальном времени и позволяет улучшить понимание подобных процессов при изучении и проектировании технических объектов.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ 3D МОДЕЛЬ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ВАЛ»

Н. М. Белашов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. С. Мурашко

Сущность параметрического проектирования состоит в создании математической модели класса конструктивно однородных изделий, а затем в генерации изображений этих изделий по набору задаваемых размерных параметров.

Для проектирования формирования чертежей используются два основных метода: вариантный и генерирующий.

Принцип работы системы, использующей генерирующий метод [2], основан на разделении чертежа изделия на элементы и создании новых чертежей изделий из имеющихся элементов.

Объектом исследования являются детали-валы трех типов: валы с фаской, валы с полусферой, валы с усеченной сферической поверхностью.

Цель работы – построение параметрической 3D модели многоступенчатого вала, используя генерирующий метод для основных элементов.

Получить параметрическую 3D модель многоступенчатого вала в AutoCAD можно путем вращения 2D объекта вокруг оси, используя команду `_revolve` (Вращать).

Для создания параметрического профиля 2D объекта–вал возможны три способа прорисовки его ступеней [1]. Анализ графических изображений, представленных на рис. 1, показывает, что каждое из них можно построить с помощью второго варианта. В первом случае (рис. 1, а) точки T10 и T40 совпадают с базовой точкой BT, в третьем (рис. 1, в) точка T10 совпадает с точкой T1, а точка T40 – с точкой T4. Если диаметр, на концах которого лежат точки T10 и T40, обозначить D0, то в первом варианте его величина будет равна 0, во втором – диаметру предыдущей ступени, в третьем – диаметру изображаемой ступени. Точки T10 и T40 определяются путем перемещения от базовой точки строящейся ступени соответственно вверх и вниз на величину, равную половине ширины (диаметра) D0. Создание графического изображения объекта можно выполнить с помощью цикла.

Для построения параметрической 3D модели многоступенчатого вала необходимо создать одну замкнутую область (команда `_region`), представляющую собой контур верхней половины параметрического 2D профиля объекта–вал (рис. 2).

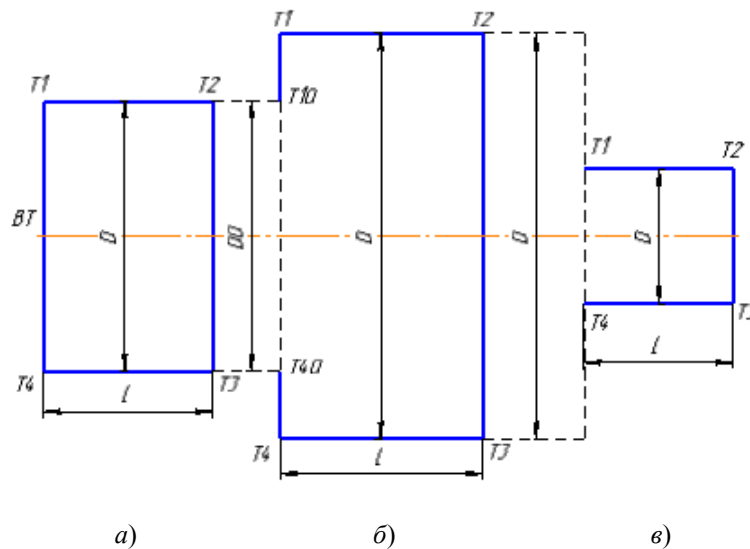


Рис. 1. Варианты графического изображения ступеней вала:
 а – первой ступени; б – ступени, ширина которой больше ширины предыдущей ступени; в – ступени, ширина которой меньше ширины предыдущей ступени

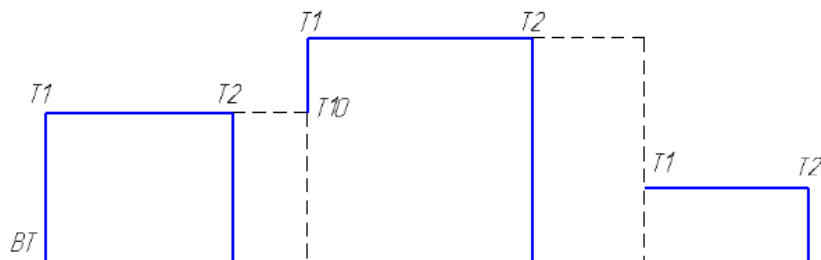


Рис. 2. Варианты изображения ступеней вала для построения области

Для выполнения поставленной задачи использовалась конкретная реализация языка LISP – встроенный в САПР AutoCAD интерпретатор языка AutoLISP. Выбор этого языка в качестве встроенного для САПР AutoCAD вызван тем, что список – оптимальный способ представления графической информации, а также легкостью реализации и небольшими размерами интерпретатора. Система автоматизированного проектирования AutoCAD предусматривает возможность самостоятельного написания диалоговых окон, отличных от определенных в системе. Для этой цели был разработан специальный язык – DCL (Dialogue Control Language, или другими словами – язык управления диалоговыми окнами).

В результате была разработана программа «VAL», которая выполняет следующие функции: загрузка диалога DCL.DCL для выбора типа вала; загрузка нового диалога для выбранного типа вала DCL2.DCL; вызов функции ok_tab, формирующей список данных, являющихся результатом диалога DCL2; создание первоначально пустого списка DL – диаметр-длина ступени; загрузка диалога DCL3.DCL для ввода параметров ступени вала и добавление указанного выше списка данными для данной ступени; в зависимости от выбранного типа вала корректируется длина последней ступени; циклически рисование контура верхней части ступени вала – функция stup; в зависимости от выбранного типа вала дорисовка функционального элемента: фаски или полусферы, или усеченной поверхности сферы; для создания параметри-

ческого профиля 3D модели детали – необходимо программно вызвать команды AutoCAD: объединение объектов в регион, вращение объектов, раскрашивание, вид (рис. 3–5); по выбору пользователя можно изменить визуальный стиль выбранного вида на 3D каркас, 3D скрытый, концептуальный.

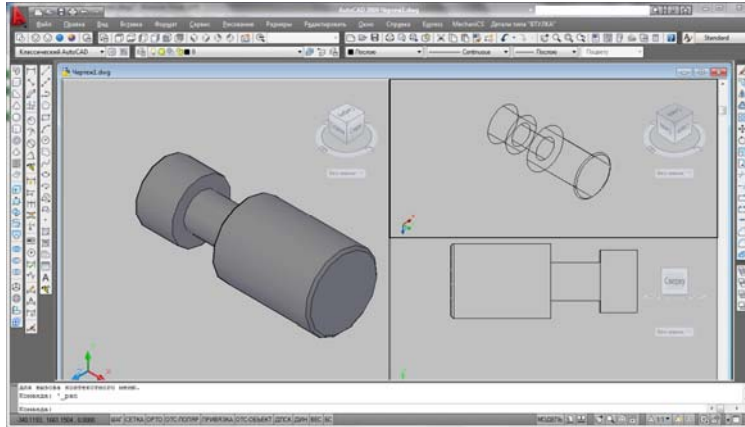


Рис. 3. Параметрическая 3D модель: вал с фаской

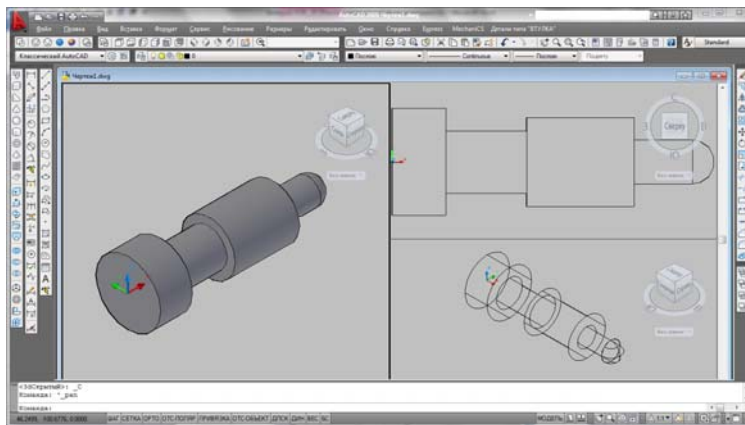


Рис. 4. Параметрическая 3D модель: вал с полусферой

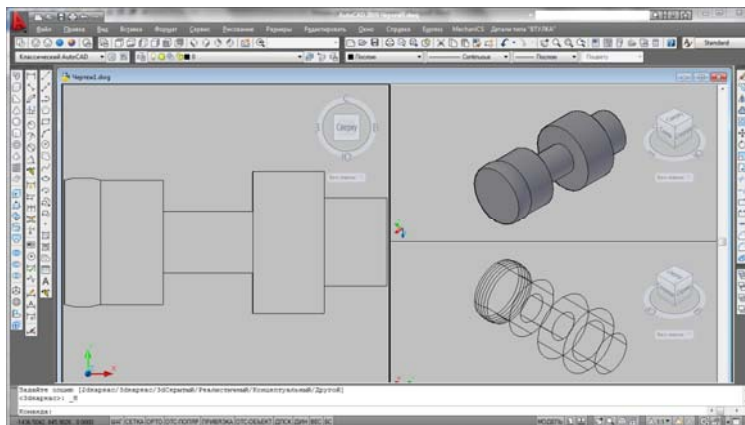


Рис. 5. Параметрическая 3D модель: вал с усеченной сферической поверхностью

Программа «VAL» удобна в обращении и позволяет быстро построить 3D модель выбранного типа вала для дальнейшей работы. У полученной 3D модели можно анализировать массовые свойства: объем, момент инерции, центр масс и т. д. Данные о теле могут экспортироваться в такие приложения, как системы числового программного управления (ЧПУ) и анализа методов конечных элементов (МКЭ).

В дальнейшем планируется для более подробного представления параметрической 3D модели детали вал разработка вспомогательных элементов, что позволит более полно передать геометрическую форму детали.

Литература

1. Кудрявцев, Е. М. AutoLISP. Основы программирования в AutoCAD 2000 / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК, 2000. – 240 с.
2. Мурашко, В. С. Системы компьютерной графики в автоматизированном проектировании : курс лекций по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-40 01 02 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» днев. формы обучения : в 2 ч. / В. С. Мурашко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – Ч. 1. Язык AutoLISP. – 109 с.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В. С. Банькова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. Н. Масалитина

Информационные технологии в настоящее время используются повсеместно. Современные ИТ-разработки позволяют развивать новые способы организации медицинской помощи населению. Большое количество стран уже давно активно используют новые технологии в сфере здравоохранения. Проведение консультаций пациентов и персонала дистанционно, обмен информацией о пациентах между различными учреждениями, фиксирование физиологических параметров, контроль за проведением операций в реальном времени – внедрение информационных технологий позволяет осуществлять все эти возможности. Это выводит здравоохранение на новый уровень развития, положительно сказываясь на всех аспектах его деятельности [1, с. 22].

Диагностика в медицине – это набор правил, методов и решений, которые позволяют прийти к заключению о наличии или вероятности наличия у человека того или иного заболевания. В настоящий момент открытие новых и усовершенствование уже существующих методов диагностики является важным направлением в медицине. Очевидно, что необходимо изучение функционирования органов как в физиологических, так и патологических состояниях, сравнивая их для прогнозирования динамики развития, возникновения последствий патологических изменений и формирования медицинских рекомендаций [2, с. 165].

В медицине информационные системы предусмотрены с целью обеспечения помощи медицинскому персоналу в разрешении проблемных ситуаций и принятии решений согласно проблемам диагностики и лечения пациентов.

Считается, что «классическая» экспертная система разрешает задачи, обладающие следующими характеристиками:

- параметры задачи статичны;
- исходные данные неоднозначны, неточны, противоречивы;

– цели нельзя выразить более точно в соответствии целевой функции;
– не существует однозначного алгоритмического решения задачи (возможность предоставления решений и ответов при наличии исходных) [3, с. 39].

Перечисленные свойства являются характерными для медицинских задач, поэтому ЭС начали широко использовать в медицине.

Изменения в позвоночнике на различных стадиях дегенеративно-дистрофического процесса в пояснично-крестцовом отделе позвоночника определяются современными средствами медицинской визуализации. Однако полученные данные статичны, а для прогнозирования динамики заболевания и развития осложнений необходим биомеханический анализ процессов в позвоночнике. Ни один из современных методов не дает информации о механических характеристиках измененных структур позвоночника.

Численное исследование процессов, происходящих в позвоночно-двигательных сегментах (ПДС) поясничного отдела, представляется одним из самых актуальных и перспективных направлений в научных исследованиях.

Одним из наиболее удобных инструментов для решения подобных задач являются искусственные нейронные сети – мощный и одновременно гибкий метод имитации процессов и явлений. Современные искусственные нейронные сети представляют собой программно-аппаратные средства создания специализированных моделей и устройств и позволяют решать широкий круг задач диагностики на основе применения алгоритмов теории распознавания образов. Отличительное свойство нейронных сетей состоит в их способности обучаться на основе экспериментальных данных предметной области. Применительно к медицинской тематике экспериментальные данные представляются в виде множества исходных признаков или параметров объекта и поставленного на основе их диагноза.

Достоинствами нейронных сетей являются их относительная простота, нелинейность, работа с нечеткой информацией, нескритичность к исходным данным, способность обучаться на материале конкретных примеров. В процессе обучения на вход нейронной сети подается последовательность исходных параметров наряду с диагнозами, которые эти параметры характеризуют [4, с. 30].

Метод обратного распространения ошибки применим к нейронной сети с одним скрытым слоем, что является допустимой и адекватной ситуацией для разрабатываемого приложения.

Обучение сети включает в себя три стадии: подача на входы сети обучающих данных, обратное распространение ошибки и корректировка весов.

В ходе первого этапа каждый входной нейрон получает сигнал и широкоовещательно транслирует его каждому из скрытых нейронов. Каждый скрытый нейрон затем вычисляет результат его активационной и рассылает свой сигнал всем выходным нейронам. Каждый выходной нейрон, в свою очередь, вычисляет результат своей активационной функции, который представляет собой нечто иное, как выходной сигнал данного нейрона для соответствующих входных данных.

В процессе обучения, каждый нейрон на выходе сети сравнивает вычисленное значение с предоставленным учителем, определяя соответствующее значение ошибки для данного входного шаблона. На основании этой ошибки вычисляется, которое используется при распространении ошибки от до всех элементов сети предыдущего слоя, а также позже при изменении весов связей между выходными нейронами и скрытыми. Аналогичным образом вычисляется для каждого скрытого нейрона.

Несмотря на то, что распространять ошибку до входного слоя необходимости нет, отклонение используется для изменения весов связей между нейронами скрытого

слоя и входными нейронами. После того как все были определены, происходит одновременная корректировка весов всех связей [5].

Целью исследования является оценка эффективности диагностики на основе измерения размерных параметров позвоночника, а также оценка степени влияния на результаты диагностики отдельных размерных параметров позвонков.

Анализ рентгеновского изображения пояснично-крестцового отдела позвоночника (ПКОП) позволяет рассчитать ряд унифицированных показателей формы и пространственного расположения позвоночника. Полученный набор параметров выступает в качестве исходных данных.

При анализе рентгенограмм ПКОП оценивались: высота межпозвоночного диска (МПД) в вентральном и дорсальном его отделах сегментов L2–S1, угол клиновидности МПД и угол, образуемый остистыми отростками смежных тел с L2 по S1 (рис. 1).

В ходе выполнения работы была разработана автоматизированная система диагностики дегенеративно-дистрофических заболеваний поясничного отдела позвоночника.

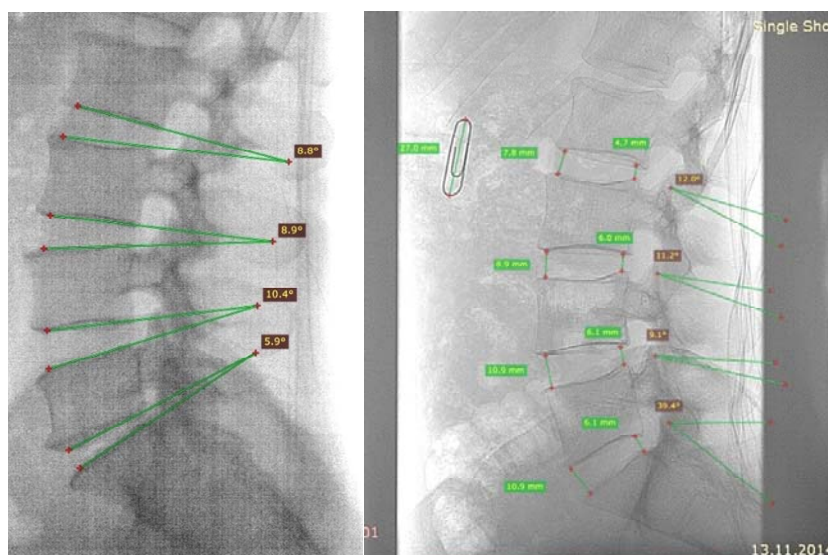


Рис. 1. Параметры межпозвоночных сочленений ПКОП

В результате обучения и тестирования полученных нейронных сетей, установлено, что сеть позволяет диагностировать отсутствие дегенеративно-дистрофических заболеваний с точностью от 64 до 72 %. Присутствие заболевания выявляется с точностью от 77 до 85 %.

Таким образом, выполненное исследование позволило сделать следующие основные выводы согласно итогам диагностики заболеваний позвоночника с использованием нейронных сетей обратного распространения ошибки:

1. Нейронные сети позволяют осуществлять диагностику дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника с довольно значительной степенью точности.

2. Присутствие отклонений диагностируется более точно, чем их отсутствие. Причина этого может скрываться как в недостаточной точности исследования, так и в объективных факторах, требующих уточнения и дальнейшего исследования. В частности, ошибочно распознанные как поврежденные межпозвоночные сочлене-

ния, могут быть носителями начальной проявлений заболевания, что невозможно выявить на основе имеющихся на настоящий момент сведений.

3. Точность диагностики на основе данных только об одном межпозвоночном сочленении является очень низкой. Для дальнейших исследований следует использовать сети, содержащие во входном слое нейроны, соответствующие параметрам нескольких соседних позвонков.

Литература

1. Мазеин, П. Информационные технологии в качестве образования по мехатронике / П. Мазеин. – М. : Вильямс, 2007. – 84 с.
2. Шумаков, Д. Большая медицинская энциклопедия / Д. Шумаков. – М., 2002. – 216 с.
3. Омельченко, В. Информатика / В. Омельченко, А. Демидова. – М., 2003. – 121 с.
4. Осипов, Г. Методы искусственного интеллекта / Г. Осипов. – М., 2017. – 65 с.
5. Алгоритм обучения многослойной нейронной сети методом обратного распространения ошибки. – 2013. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/198268/>. – Дата доступа: 13.12.2016.

ЧАТ-БОТЫ КАК НОВЫЙ СПОСОБ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ

А. И. Дмитриев, А. А. Журавкина

*Учреждение образования «Белорусский государственный
экономический университет», г. Минск*

Научный руководитель Г. Н. Подгорная

В современном мире люди постоянно заняты, между работой и домом не всегда остается время заехать в магазин за продуктами, посетить какое-либо заведение. Именно по этим причинам была придумана доставка еды. Это очень удобно и быстро. Сейчас этот способ покупки продуктов пользуется большой популярностью.

На сегодняшний день услуги заказа товаров оказываются по телефону, через веб-сайты, через мобильные приложения. Однако все эти способы имеют свои недостатки: например, не каждый человек имеет достаточно времени для совершения заказа по телефону или же не желает общаться с незнакомым человеком. При заказе товара через веб-сайт неудобно пользоваться полноразмерной версией сайта, а для заказа товара через мобильное приложение первоначально его следует скачать на мобильный телефон, что опять же затрудняет процесс оформления заказа.

Для решения этих проблем уже не первый год развивается альтернативная технология виртуальных помощников, носящих название чат-ботов. Чат-бот – это виртуальный собеседник, программа, которая создана для имитации поведения человека при общении с одним или несколькими собеседниками [1].

Целью работы является исследование чат-бота как нового способа оказания услуг, создание чат-бота для платформы Telegram.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучить сценарий использования чат-бота как нового способа оказания услуг;
- рассмотреть преимущества использования чат-бота;
- создать чат-бота как помощника для заказа пиццы в мессенджере Telegram.

Актуальность выбранной темы очевидна, так как внедрение чат-ботов в сферу оказания услуг облегчит жизнь людей в условиях динамичности мира и ограниченных временных ресурсов.

В большей степени этот тренд формируется сейчас за рубежом – существует огромное количество ботов для Slack или Telegram, решающих самые разные задачи –

от поиска авиабилетов до управления небольшими командами разработчиков. И чтобы получить все это, пользователям даже не нужно выходить из предпочитаемого мессенджера. Для чего используются чат-боты [3]:

- **Замена рутины** – позволяет выполнять определенные функции, не привлекая людей, а работа будет выполнена моментально и безупречно.

- **Поиск и агрегация** новостей, аналитики, данных (Data-Driven Collaboration), данные доступны в месте принятия решений – мессенджерах и всем участникам, которым они нужны.

- **E-commerce** – для спонтанных покупок без долгого поиска, mobile e-commerce + visual search + chatbots, для общения с клиентами.

Первая линия работы с клиентами, помощники, консультанты, типовые вопросы, телефония.

- **Just for Fun** – просто для развлечения.

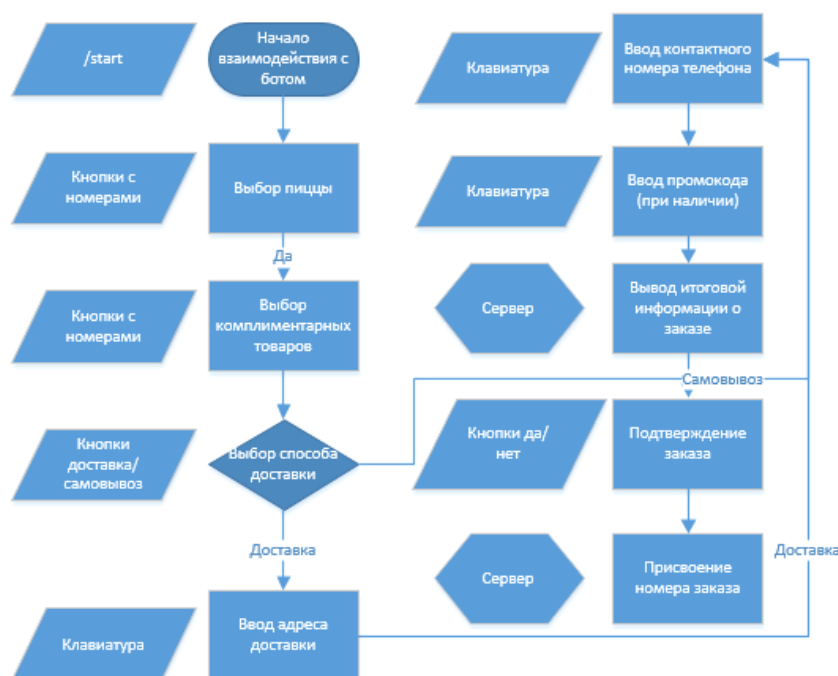


Рис. 1. Алгоритм заказа товара

К преимуществам использования чат-бота для совершения заказа можно отнести следующие [4]:

1. Бота не нужно скачивать и устанавливать.
2. Общение с ботом абсолютно безопасно и приватно.
3. Разработка бота гораздо дешевле, чем создание мобильного приложения или веб-сайта.

4. Боты снижают расходы на поддержку клиентов.

5. Боты привлекают новых пользователей.

6. Боты позволяют оптимизировать продажи.

Для изучения работы чат-ботов авторами был разработан помощник, позволяющий заказать пиццу. Процесс заказа разделен на несколько логических этапов:

- 1) выбор пиццы и комплиментарных товаров (соусы, напитки);
- 2) выбор способа доставки;

- 3) ввод персональных данных (адрес доставки, номер телефона);
- 4) ввод промокода;
- 5) окончательное утверждение заказа.

Для осуществления заказа через чат-бота пользователю необходимо найти его в приложении Telegram через поиск по имени @orderpizzatestbot. Дальнейшее взаимодействие строится в окне диалога. Клиент инициализирует процесс заказа вводом команды /start, после чего бот начинает задавать уточняющие вопросы и предлагать варианты ответов. На основании этого конфигурируется заказ.

Созданный чат-бот разработан на языке программирования Java и контактирует с пользователями посредством интернет-соединения [2]. Для хранения информации используется БД MySQL. В ней находится список доступных к заказу пицц, информация о них, список доступных сопутствующих товаров, а также информация о промокодах и совершенных заказах.

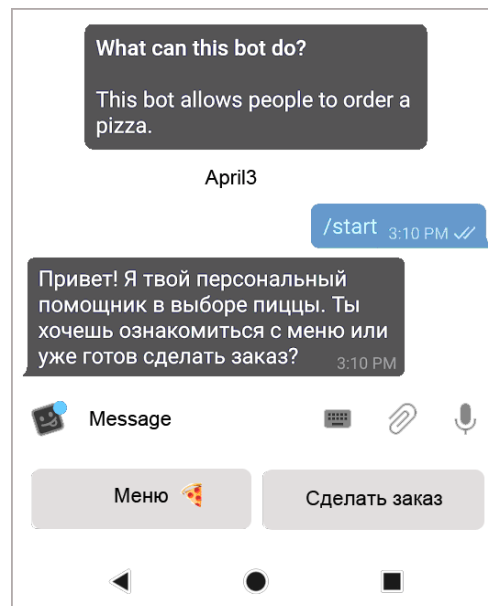


Рис. 2. Приветственный экран чат-бота

Хотя данный бот и реализует возложенную на него задачу – позволяет заказать пиццу онлайн, он имеет и ряд недостатков. На данный момент не реализована возможность заказа нескольких видов пицц или нескольких видов дополнительных товаров. Кроме того, система может испытывать трудности при работе под высокими нагрузками. Эти проблемы могут быть решены оптимизацией исходного кода или использованием более мощного технического обеспечения.

Разработанный чат-бот может быть внедрен в условия реально существующей пиццерии при условии исправления перечисленных выше недостатков. Программа спроектирована так, что донастройка под нужды конкретного бизнеса не приведет к большим денежным или временным затратам.

В рамках данной работы и поставленной цели было проведено исследование, показавшее, что на сегодняшний день чат-боты можно назвать достойной альтернативой другим традиционным способам взаимодействия бизнеса и клиентов. Тем не менее на территории стран СНГ они пока что не развиты в достаточной степени, чтобы использоваться повсеместно.

Литература

1. Боты как альтернатива мобильным приложениям. – 2016. – Режим доступа: <http://webzavod.ru/blog/boty-kak-alternativa-mobilnym-prilozheniyam>. – Дата доступа: 03.04.2017.
2. Telegram API. – 2016. – Режим доступа: <https://core.telegram.org/>. – Дата доступа: 03.04.2017.
3. Автоматизация при помощи бота или как из истерии по роботам сделать полезное решение. – 2016. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/flowwow/blog/301996/>. – Дата доступа: 03.04.2017.
4. Технологическая эволюция: что боты дают людям и бизнесу прямо сейчас. – 2016. – Режим доступа: <https://vc.ru/p/bots-evolution/>. – Дата доступа: 03.04.2017.

**МНОГОФАКТОРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ****А. Д. Мельникова***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. С. Мурашко

С экспериментом связана любая человеческая деятельность. Человек экспериментирует всегда и везде. И при этом естественным, хотя и противоречивым, является желание проводить эксперимент, как правило, в наиболее короткие сроки с наименьшими затратами, получая при этом достоверную и точную информацию.

В последнее время изменились объекты исследования и изменилось само понятие об эксперименте и способах его проведения. Сейчас все больше приходится иметь дело со сложными системами, в которых множество элементов, большое количество взаимодействующих друг с другом факторов.

Процессы обработки материалов резанием являются сложными многофакторными процессами. В этих процессах исследуемая величина часто является случайной величиной, зависящей от большого числа контролируемых и неконтролируемых факторов. Поэтому процессы резания все чаще стали рассматривать с вероятностно-статистических позиций, а при экспериментальных исследованиях применять методы планирования эксперимента, базирующиеся на идеях математической статистики.

Целью данной работы является разработка методики получения многофакторной математической модели, характеризующей зависимость температуры резания от основных факторов процесса резания.

При исследовании процессов резания многие зависимости традиционно представляются уравнениями степенного вида, в частности, эмпирические температурные зависимости:

$$\theta = cv^{\alpha} s^{\beta} t^{\gamma}, \quad (1)$$

где v – скорость резания, м/мин; s – подача, мм/об; t – глубина резания, мм; c , α , γ , β – постоянные величины.

Уравнение (1) в результате логарифмирования линеаризуется:

$$\ln \theta = \ln c + \alpha \ln v + \beta \ln s + \gamma t. \quad (2)$$

Так как температура в зоне резания измерялась в миллиметрах длины кривой на диаграммной ленте потенциометра в качестве функции отклика, решено было принять $y = \ln \theta$, а математическую модель представить в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (3)$$

где x_1, x_2, x_3 – кодированные значения факторов v, s, t .

В качестве плана эксперимента предлагается использовать центральный композиционный ротатабельный план второго порядка [1], представленный на рис. 1, а кодирование независимых переменных проводить с помощью соотношений

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{iB})}{\ln \tilde{x}_{iB} - \ln \tilde{x}_{iH}} + 1, \quad (4)$$

где \tilde{x}_i – натуральное значение; $\tilde{x}_{iB}, \tilde{x}_{iH}$ – натуральные значения верхнего и нижнего уровней соответственно.

С целью определения коэффициентов регрессии проводится полный факторный эксперимент по алгоритму [2].

п40					
Матрица планирования эксперимента					
Уровни фактора					
Название части плана	Номер опыта	X1	X2	X3	
План Z ³ "ядро плана" N=8	1	-1	-1	-1	
	2	1	-1	-1	
	3	-1	1	-1	
	4	1	1	-1	
	5	-1	-1	1	
	6	1	-1	1	
	7	-1	1	1	
	8	1	1	1	
"Звездные точки" n _z =6 a=1,682	9	-1,681792831	0	0	
	10	1,681792831	0	0	
	11	0	-1,681792831	0	
	12	0	1,681792831	0	
	13	0	0	-1,681792831	
	14	0	0	1,681792831	
"Нулевые точки" n ₀ =6	15	0	0	0	
	16	0	0	0	
	17	0	0	0	
	18	0	0	0	
	19	0	0	0	
	20	0	0	0	

Рис. 1. Матрица планирования эксперимента

Решение вручную поставленной интерполяционной задачи требует очень много временных затрат и не исключает случайных ошибок, которые может допустить разработчик.

Предлагается методика реализации представленного алгоритма для получения математической зависимости температуры резания от скорости, подачи и глубины резания при обработке точением стали 20 цельными проходными резцами из быстрорежущей стали P18 в Microsoft Excel.

Принятые уровни факторов представлены в таблице.

Уровни факторов

Наименование факторов	Значения факторов				
	кодированные для x_1, x_2, x_3				
	-1,6812	-1	0	1	1,6812
	натуральные для v, s, t				
Скорость резания v , м/с	0,072	0,115	0,228	0,454	0,725
Подача s , мм/об	0,082	0,11	0,169	0,26	0,3486
Глубина резания t , мм	0,251	0,36	0,612	1,04	1,493

Рис. 2 содержит фрагмент расчетов в Microsoft Excel – рабочую матрицу с результатами проведения эксперимента 2-го порядка, содержащую натуральные значения.

46	Рабочая матрица с результатами проведения эксперимента 2-го порядка, содержащая натуральные значения факторов					
47	N	v	s	t	θ	Y=lnθ
48						
49	1	0,115	0,11	0,36	5,408111737	1,6879
50	2	0,454	0,11	0,36	7,986079791	2,0777
51	3	0,115	0,26	0,36	6,359183572	1,8499
52	4	0,454	0,26	0,36	9,812921131	2,2837
53	5	0,115	0,11	1,04	5,922152614	1,7787
54	6	0,454	0,11	1,04	8,738163135	2,1677
55	7	0,115	0,26	1,04	7,013942824	1,9479
56	8	0,454	0,26	1,04	10,80598341	2,3801
57	9	0,072011446	0	0	5,150531947	1,6391
58	10	0,72502363	0	0	10,28925349	2,3311
59	11	0	0,082042782	0	6,598220556	1,8868
60	12	0	0,348598615	0	9,039465079	2,2016
61	13	0	0	0,250750039	7,136339715	1,9652
62	14	0	0	1,493120405	8,352826629	2,1226
63	15	0	0	0	7,807618595	2,0551
64	16	0	0	0	7,951813374	2,0734
65	17	0	0	0	7,958973227	2,0743
66	18	0	0	0	7,820902835	2,0568
67	19	0	0	0	7,852249098	2,0608
68	20	0	0	0	8,05102973	2,0858

Рис. 2. Рабочая матрица проведения эксперимента

Доверительные интервалы коэффициентов при 5%-м уровне значимости представлены на рис. 3. Коэффициенты b_{12} , b_{13} , b_{23} по абсолютной величине оказались меньше доверительного интервала, поэтому их можно считать статистически незначимыми и исключить из уравнения регрессии.

127	Определение дисперсии воспроизводимости и дисперсии коэффициентов регрессии									
128	Дисперсия воспроизводимости $S(y)(2,33)$									
129	-0,0126	S^2_{y0}	2,42947E-05	S_{b0}	0,004928962					
130	0,0057	S^2_{y1}	1,06738E-05	S_{b1}	0,00326705					
131	0,0066	S^2_{y2}	1,82383E-05	S_{b2}	0,004270403					
132	-0,0109	S^2_{y3}	1,01313E-05	S_{b3}	0,00318297					
133	-0,0069									
134	0,0181									
135	0,000145769									
136	Доверительные интервалы									
137	t-распределение Стьюдента для уровня значимости $\alpha=0,05$ и числа $t_2=5$	2,570581836	Доверительный интервал b_0	Доверительный интервал b_1	Доверительный интервал b_2	Доверительный интервал b_3				
138			0,0126703	0,008396219	0,010977419	0,008182085				
139	Определение значимости коэффициентов регрессии									
140	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
141	Значимый	Значимый	Значимый	Значимый	Незначимый	Незначимый	Незначимый	Значимый	Значимый	Значимый

Рис. 3. Определение доверительных интервалов и значимости коэффициентов регрессии

В результате было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 2,0677 + 0,2056x_1 + 0,0935x_2 + 0,0466x_3 - 0,0292x_1^2 - 0,0083x_2^2 - 0,0084x_3^2. \quad (5)$$

Проверка гипотезы об адекватности модели, представленной уравнением (5), показала, что модель адекватна при 5%-м уровне значимости.

Уравнение (5) для рассматриваемой области изменения факторов дает возможность предложить следующую математическую модель процесса, если подставить в него вместо кодированных натуральное значение факторов, используя для этого соотношение (4):

$$\theta = 14,224 \cdot V^{0,1162-0,062 \ln V} S^{0,0571-0,45 \ln S} t^{0,1138-0,03 \ln t}. \quad (6)$$

Зависимость (6) позволяет определить температуру резания в достаточно широком диапазоне, изменяя режимы резания при обработке точением стали 20. По уравнению (6) может быть построена номограмма, которая позволит в практических условиях определять температуру резания при выбранных значениях элементов режима резания.

Литература

1. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
2. Пучков, А. А. Применение теории планирования эксперимента для математического моделирования элементов технологических процессов / А. А. Пучков, С. А. Щербаков. – Гомель : ГПИ, 1993. – 72 с.

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПИКСЕЛЬНОЙ ГРАФИКИ

Ю. С. Миргород

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель Е. Н. Савкова

В рамках ГПНИ на 2016–2020 гг. «Фотоника, опто- и микроэлектроника» и «Информатика, космос и безопасность» было разработано исследовательское программное обеспечение «Metrum», которое автоматизирует анализ данных для определения размера оптимальной области изображения по критерию минимума неопределенности измерения интенсивностей в красном, зеленом и синем цветовых каналах. Важным условием решения исследовательских задач на основе технологий пиксельной графики является корректный выбор параметров цифровых изображений: апертуры и времени экспозиции цифровой камеры, формата и размеров $N \times M$ активной области. Применительно к исследованиям фотометрических и колориметрических характеристик протяженных объектов необходимо определить оптимальные рабочие области цифровых изображений, а также динамический диапазон метода.

Постановка задачи. Пусть в трехмерном пространстве задан протяженный объект. Для цифровых изображений данного объекта в цветовом пространстве RGB (sRGB, Adobe RGB) необходимо определить наименьший размер области исследования, который обеспечивает выполнение условия минимума неопределенности интенсивности в трех каналах цветового пространства в пределах всего динамического диапазона.

В качестве примера тест-объекта протяженного объекта выбран участок безоблачного неба в дневное время суток (рис. 1), который представляет модель первичного равномерного излучателя. Для охвата всего динамического диапазона исследуемого объекта выполнена серия цифровых изображений с изменяющимся временем экспозиции.



Рис. 1. Цифровые изображения тест-объекта

Для качественного описания критерия минимума неопределенности будем использовать значение дисперсии распределения исследуемых величин. Находить оптимальное значение размера исследуемой области будем при помощи регрессионного анализа графиков зависимостей $D = f(N)$, построенных в координатах $(D; N)$, где D – дисперсия значений интенсивности цветового канала исследуемой области, а N – размер области. Значение будем рассчитывать для пяти областей, расположенных в четырех углах и по центру изображения. Расчет дисперсии интенсивности для разных областей одного изображения не только повышает достоверность получаемых результатов, но и позволяет решить дополнительную исследовательскую задачу: плотность вероятности распределения дисперсий значений интенсивности областей, расположенных как описано выше, позволяет охарактеризовать величину погрешности в разных областях одного и того же изображения и указать размер области, при котором дисперсия в разных областях изображения максимально одинакова.

Оптимизация выбора платформы. Для обеспечения точности производимых вычислений предлагается использовать систему компьютерной алгебры (CAS) Wolfram Mathematica, которая позволяет работать с широким рядом форматов цифровых изображений и производить статистический анализ и вычисления с любым заданным классом точности. На первом этапе анализа из исследуемого изображения необходимо извлечь массив значений интенсивности канала цветового пространства (R , G или B). Затем для обозначенных областей рассчитываются значения дисперсий, строится график полученных зависимостей. На основе регрессионного анализа полученных графиков, соответствующих разным каналам изображений, снятых с разными выдержками, определяется искомое значение оптимального размера области, удовлетворяющего поставленной задаче.

Для оптимизации выполнения действий, необходимых для решения поставленной задачи, предлагается использовать разработанное программное обеспечение «Metrum». На рис. 2 представлено главное окно программы «Metrum».

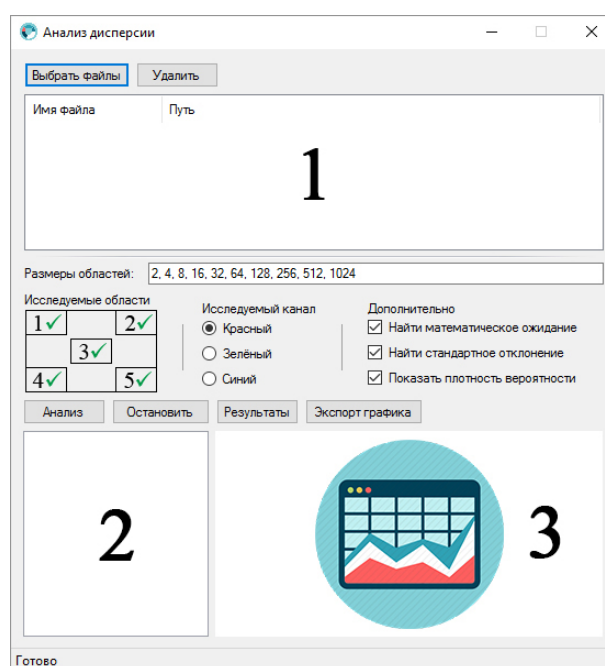


Рис. 2. Главное окно программы «Metrum»

Процесс работы программы можно условно разбить на три этапа. На первом этапе необходимо добавить в очередь исследования (1) файлы цифровых изображений исследуемого объекта. Для этого необходимо нажать на кнопку «*Выбрать файлы*». Чтобы удалить ошибочно выбранные файл(ы) или файл(ы), исследование которых производить не нужно, выберите этот файл(ы) и нажмите кнопку «*Удалить*».

На втором этапе необходимо задать основные параметры исследования, а именно: размеры, количество и положение областей, исследуемый канал цветового пространства, другие дополнительные параметры. Для того чтобы указать, для каких размеров сторон квадратных областей производить исследование, впишите необходимые значения, разделенные символом запятая «,», в поле «*Размеры областей*». Для выбора исследуемых областей в одноименном разделе выполните одинарный щелчок мыши возле желаемых областей. Области, для которых будет производиться анализ, отмечены символом зеленой галочки. Для выбора исследуемого канала цветового пространства приключите указатель в разделе «*Исследуемый канал*».

В разделе «*Дополнительные параметры*» выберите необходимые параметры, которые будут рассчитаны и(или) отображены на графиках в процессе анализа. При выбранном пункте «*Найти математическое ожидание*» для выбранных исследуемых областей будет рассчитано математическое ожидание для каждого из исследуемых размеров областей. Отметив пункт «*Найти стандартное отклонение*», для выбранных исследуемых областей будет рассчитано стандартное отклонение для каждого из исследуемых размеров областей. При выбранном пункте «*Показать плотность вероятности*» для выбранных исследуемых областей на графиках зависимостей будут отображены плотности вероятности распределения значений дисперсий на уровне трех стандартных отклонений ($M[X] \pm 3\sqrt{D[X]}$).

На третьем этапе при нажатии на кнопку «*Анализ*» запустится анализ выбранных изображений согласно заданным параметрам. При этом откроется новое окно «*Результаты*», содержащее автоматически заполняемую по мере выполнения анализа таблицу с результатами исследования. Для каждого последующего исследования заполняется отдельный лист таблицы. После завершения исследования полученную книгу исследования можно сохранить в формате «*Книга Excel (.xlsx)*» или другом удобном для пользователя. При закрытии окна «*Результаты*» его можно повторно открыть, нажав одноименную кнопку в главном окне программы.

По мере выполнения анализа на «*древо графиков*» (2) будут добавляться полученные графики зависимостей. Просмотр графиков осуществляется в «*области просмотра графиков*» (3) путем выбора его имени в древе графиков одинарным щелчком мыши. После завершения исследования полученные графики можно экспортировать, выбрав соответствующий график в древе графиков и нажав кнопку «*Экспорт графика*». Экспорт можно произвести в растровом (.jpg) или векторном (.svg) формате.

При нажатии кнопки «*Остановить*» программа произведет остановку выполнения текущей операции.

Программный продукт «Metrum» написан на языке C#, платформа NET. Framework 4.6.1. Для корректной работы приложения на компьютере должна быть предустановлена система компьютерной алгебры Wolfram Mathematica версии 11.0.

Системные требования: ОС Microsoft Windows 10 x64, версия NET. Framework – 4.6.1 и выше, наличие Wolfram Mathematica версии 11.0 и выше.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

П. Ю. Дроздов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. А. Трохова

При строительстве нефтяных скважин одной из важных задач управления является задача предотвращения возникновения осложнений при бурении. Ущерб от осложнений складывается из потерь времени для их обнаружения и ликвидации, зачастую сопоставимых с временем самого бурения, затрат на энергию и материалы. Поэтому компьютерное моделирование и прогноз осложнений при проектировании и строительстве скважин является актуальной задачей, которая при полной реализации позволит не только повысить качество проектирования, но и уменьшит вероятность нештатных и аварийных ситуаций, что в конечном итоге приведет к значительной экономии.

Для автоматизации прогноза осложнений, возникающих при бурении скважин, необходимо решить следующие задачи: выполнить анализ предметной области, разработать классификационную схему, информационно-логическую модель системы, разработать алгоритмы, позволяющие выполнить прогнозирование с достаточной точностью.

Авторами выделено направление автоматизации, позволяющее выполнить компьютерное прогнозирование осложнений при бурении скважин. Это направление предусматривает автоматизированный прогноз осложнений при непосредственном строительстве скважины и позволяет буровому инженеру учитывать возможный риск возникновения нештатной ситуации и прогнозировать поведение скважины при бурении в зависимости от оценочных параметров процесса бурения.

Данное направление сводится к необходимости автоматизации процессов, которые плохо поддаются формализации и носят вероятностный характер, что затрудняет процесс моделирования даже при наличии адекватных математических моделей. В настоящее время определенный опыт решения плохо формализованных задач в первую очередь теории экспертных систем и баз знаний. Поэтому при разработке информационной структуры предметной области и алгоритмов обработки были применены элементы системы искусственного интеллекта.

Для решения задачи прогнозирования возникновения осложнений была разработана система, в основе которой заложены алгоритмы с использованием искусственных нейронных сетей.

Искусственные нейронные сети получили большое распространение для решения задач, связанных с распознаванием и классификацией больших объемов данных по различным критериям. Система прогнозирования осложнений бурения нефтяных скважин представляет из себя задачу распознавания сложившейся ситуации на основе получаемых данных с измерительных приборов.

Система прогнозирования осложнений на основе искусственной нейронной сети должна пройти этап обучения на выборке данных. Эти данные соответствуют реальным данным получаемым с приборов на буровой установке и для этих данных определено однозначное соответствие прогнозу сложившейся ситуации. На основе этих данных нейронная сеть определяет закономерности в полученных параметрах для последующего принятия решения в пользу той или иной ситуации. Для обучения массив данных должен быть подобран с особой аккуратностью, в связи с тем, что дальнейшая работа алгоритма прогнозирования осложнений будет основываться на

данных, которые используются в обучении и множественные неточности и неоднозначности будут давать большую погрешность при прогнозе.

Обучение нейронной сети имеет свои классификационные параметры. Одним из параметров обучения искусственной нейронной сети является процент ошибочных выводов. Процесс обучения будет продолжаться до тех пор, пока процент ошибочных выводов не станет меньше чем заданный при запуске обучения. Чем ниже процент ошибки, тем точнее нейронная сеть будет делать предсказания, однако не стоит добиваться слишком маленького порога ошибочных выводов в связи с тем, что может произойти переобучение искусственной нейронной сети, и на обучающей выборке нейронная сеть будет работать, но на реальных данных точность прогноза будет снижена.

Само обучение происходит не только в непосредственно в режиме обучения системы, но и в режиме работы приложения в качестве системы прогнозирования осложнений, что дает возможность для улучшения работы системы прогнозирования.

Информационная система в настоящее время находится на стадии разработки. Система выполнена в виде веб-приложения с реализацией бизнес-логики на серверной стороне и графическим отображением информации в удобном для пользователя виде на клиентской стороне.

Гистограмма, приведенная на рис. 1, является результатом работы приложения в режиме прогнозирования ситуации после обучения нейронной сети. По данным, полученным на выходе нейронной сети, можно сказать, что с вероятностью более 75 % ситуация соответствует состоянию «бурение в мягких породах», которое может привести к осложнению «поглощение бурового раствора».

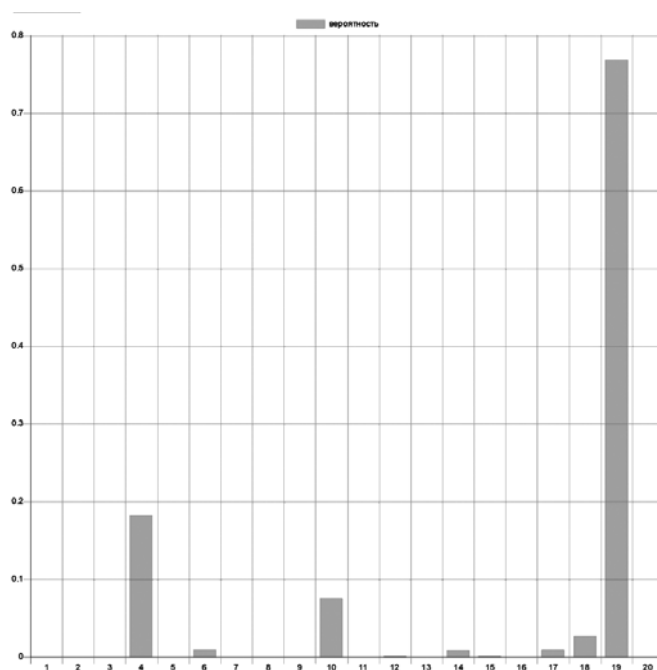


Рис. 1. Гистограмма предсказания режима работы буровой в текущий момент времени

В дальнейшем планируется реализовать потоковую обработку поступающих данных для отображения статистических изменений с течением времени и выявления закономерностей изменений данных для дальнейшего изучения предметной области.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ВИНТОВОЙ СВАИ ВСЛЕДСТВИЕ ЕЕ УСТРОЙСТВА

Е. В. Калейчик

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. В. Прокопенко

Одной из проблем удешевления жилья является задача разработки и внедрения рациональных конструкций фундаментов зданий. При определенных свойствах грунтового основания и способе устройства фундамента здания экономически целесообразным может оказаться фундамент на основе винтовых свай. При завинчивании сваи в грунтовое основание происходит уплотнение грунта вокруг ствола с постепенным убыванием до его первоначального состояния. Размер этой зоны уплотнения *подлежит определению*. Уплотнение грунта изменяет значение основных физико-механических характеристик грунта. Для исследования осадки винтовой сваи при вдавливании строится математическая модель исследуемой системы посредством формирования однородного грунтового основания, эквивалентного по несущей способности реальному неоднородно уплотненному грунтовому основанию. Для построения эквивалентного грунтового основания необходимо определить основные физико-механические характеристики эквивалентного грунтового основания – модуль деформации E_{ekv} [1].

Закономерность изменения модуля деформации грунта в уплотненной зоне вокруг ствола винтовой сваи может быть описана степенной функцией гиперболического типа:

$$E_i = ar_i^k, \quad k < 0,$$

где r_i – расстояние i -й точки уплотненного грунтового основания до ствола сваи, см; E_i – модуль деформации в i -й точке уплотненного грунтового основания винтовой сваи, МПа.

Ранее была получена формула для расчета эквивалентного модуля деформации уплотненного грунтового основания вокруг ствола винтовой сваи [2]:

$$E_{ekv} = \frac{E_0}{1 - \mu}, \quad (1)$$

где E_0 – модуль деформации грунтового основания до устройства сваи, МПа; μ – коэффициент Пуассона.

Моделирование несущей способности грунтового основания одиночной винтовой сваи. Железобетонная одиночная винтовая свая сечением 0,2 м погружена на 4,1 в нелинейно-деформируемое грунтовое основание. На сваю действует вертикальная статическая нагрузка P . Необходимо определить размер зоны уплотнения грунтового основания вокруг ствола винтовой сваи. Приведенные начальные характеристики грунтового основания: $E = 32$ МПа, $\mu = 0,3$. Эквивалентный модуль деформации грунта в уплотненной зоне, полученный по формуле (1), равен $E = 45,7$ МПа. Решение поставленной задачи проводилось посредством специального натурального эксперимента, выполненного в отделе оснований и фундаментов БЕЛНИИС (г. Минск) (рис. 1).

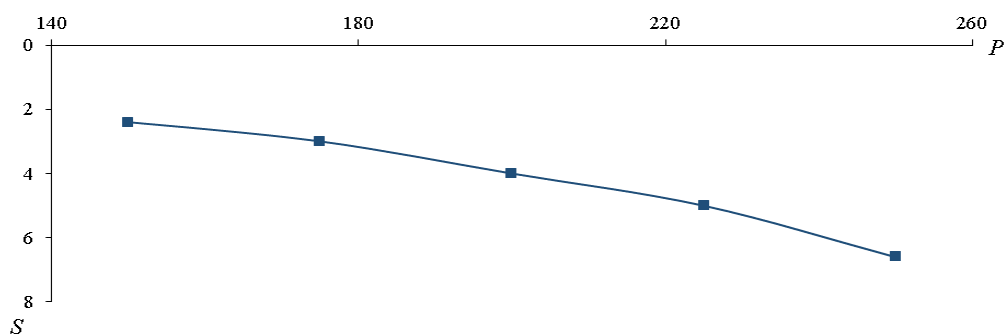


Рис. 1. Зависимость осадки винтовой сваи в нелинейно-деформируемом грунтовом основании от нагрузки

Для моделирования несущей способности грунтового основания винтовой сваи воспользуемся программным комплексом «Энергия-ОС-БП», интерфейс которого приведен на рис. 2.

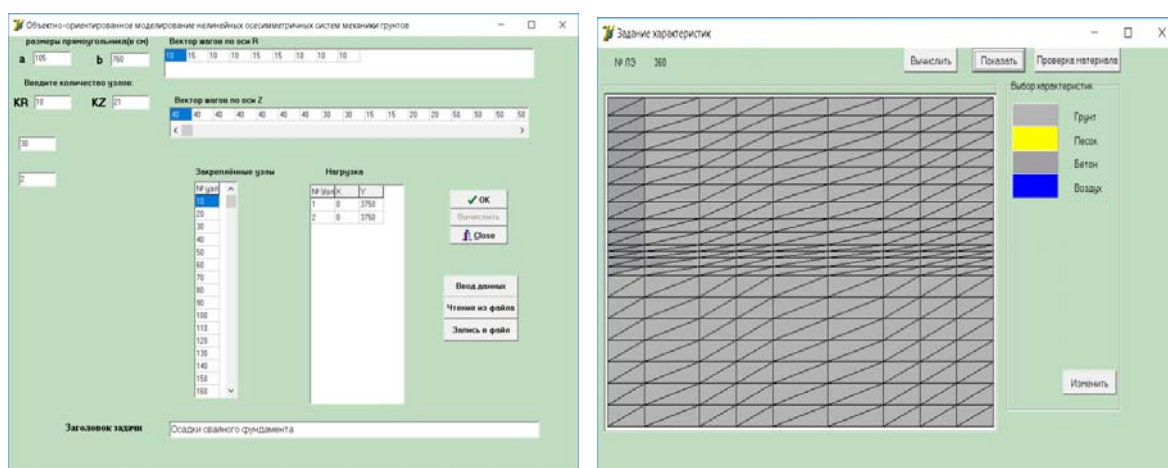


Рис. 2. Интерфейс программного комплекса «Энергия-ОС-БП»

Осадка винтовой сваи в грунтовом основании при различных размерах зоны уплотнения

r , см	S , см	P , кН				
		150	175	200	225	250
—	S_{op}	0,24	0,3	0,4	0,5	0,66
60	S	0,19	0,24	0,3	0,37	0,45
45	S	0,19	0,25	0,32	0,39	0,46
35	S	0,21	0,27	0,34	0,42	0,5
25	S	0,24	0,32	0,4	0,49	0,6

Примечание. S – осадка винтовой сваи, рассчитанная по компьютерной программе «Энергия-ОС-БП»; S_{op} – осадка винтовой сваи, полученная опытным путем; r – радиус зоны уплотнения грунтового основания винтовой сваи.

По результатам компьютерного моделирования можно сделать вывод (см. таблицу), что зона уплотнения грунтового основания вокруг ствола рассматриваемой винтовой сваи равна 25 см.

Литература

1. Прокопенко, Д. В. Метод определения осадки винтовой сваи в деформируемом грунтовом основании / Д. В. Прокопенко // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2013. – № 6 (81). – С. 146–149.
2. Быховцев, В. Е. Приближенный аналитический метод определения осадки винтовой сваи в нелинейно-деформируемом грунтовом основании с учетом его уплотнения / В. Е. Быховцев, Д. В. Прокопенко // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2012. – № 6 (75). – С. 110–114.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПИНА БОЗОНА ХИГГСА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ATLAS НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ В ПРОЦЕССЕ РОЖДЕНИЯ ФОТОННЫХ ПАР

И. П. Бурим

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Цитринов

Стандартная модель предсказывает существование поля (называемого полем Хиггса), которое имеет ненулевую амплитуду в основном состоянии, т. е. ненулевое вакуумное ожидаемое значение. Существование ненулевого вакуумного ожидаемого значения приводит к спонтанному нарушению электрослабой калибровочной симметрии.

В 2012 г. коллаборации ATLAS и CMS объявили об открытии нового 125 ГэВ резонанса. Это был большой триумф экспериментов на БАК [1], так как свойства обнаруженного сигнала соответствовали свойствам бозона Хиггса. Сигналы были идентифицированы в разных каналах, в частности $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow ZZ^*$ и $H \rightarrow WW^*$, которые изображены на рис. 1. В интервале масс $110 < M_H < 140$ ГэВ были зарегистрированы события распада бозона Хиггса на два фотона. Коллаборациями ATLAS и CMS было затрачено много усилий для определения свойств частицы, в частности для измерения спина обнаруженного бозона. Канал распада $H \rightarrow \gamma\gamma$ представляет особый интерес для исследования, так как только в этом канале теоремой Ландау–Янга запрещено рождение резонанса со спином один, и поэтому обнаруженный резонанс может быть либо бозоном со спином ноль (бозон Хиггса), либо со спином два (гравитон). Таким образом, задача разделения спина представляет собой исключение гипотезы со спином два.

Разделение гипотез со спином ноль и спином два может быть осуществлено на основе исследования кинематических распределений (угловых распределений событий рождения фотонных пар, которые показаны на рис. 2), а так же при помощи асимметрии центр–край [2]. Асимметрия центр–край (рис. 3) обладает существенным преимуществом по сравнению с анализом угловых распределений, так как являясь относительной величиной позволяет избавиться от влияния систематических погрешностей измерений и требует существенно меньшего количества зарегистрированных резонансных событий.

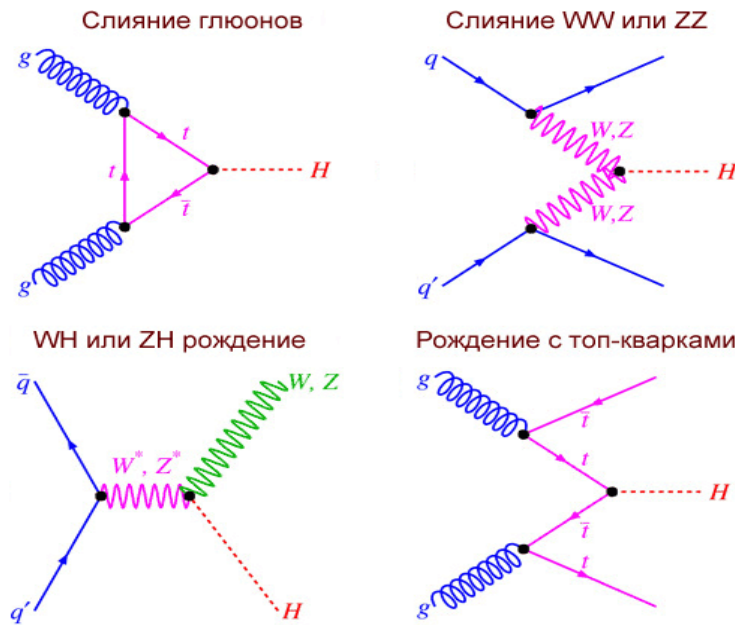


Рис. 1. Каналы рождения бозона Хиггса

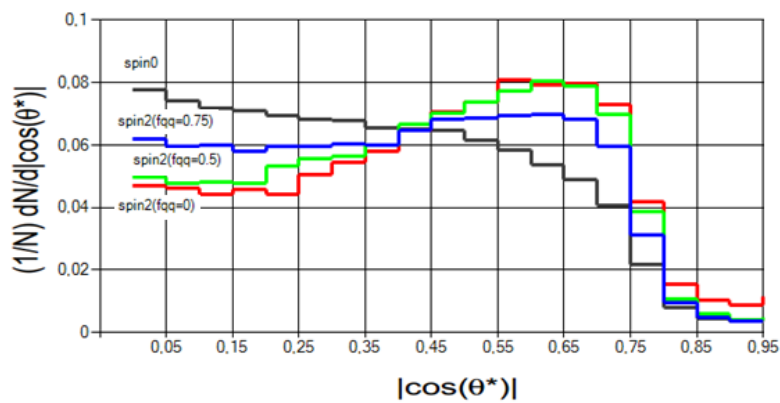


Рис. 2. Угловое распределение событий рождения фотонных пар

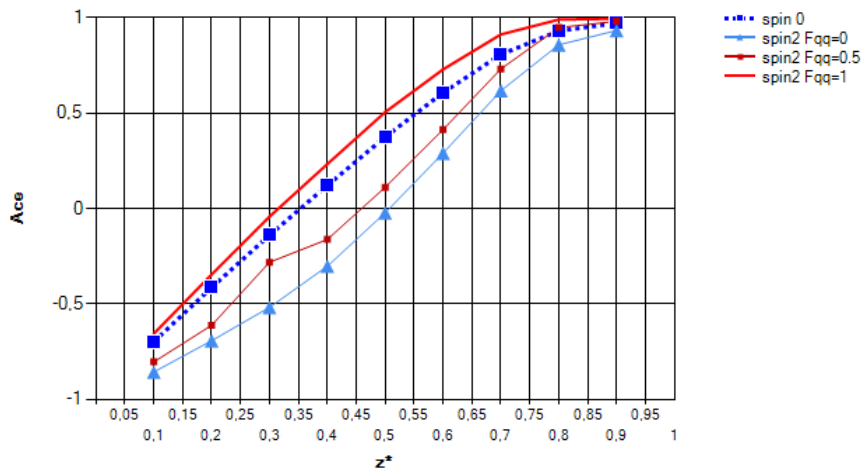


Рис. 3. Зависимость асимметрии центр-край от параметра z^*

В работе выполнен анализ углового распределения на Большом адронном коллайдере для процесса $pp \rightarrow \gamma\gamma + X$, получена оценка p -значений (рис. 4) для идентификации спина бозона Хиггса в процессе $pp \rightarrow \gamma\gamma + X$.

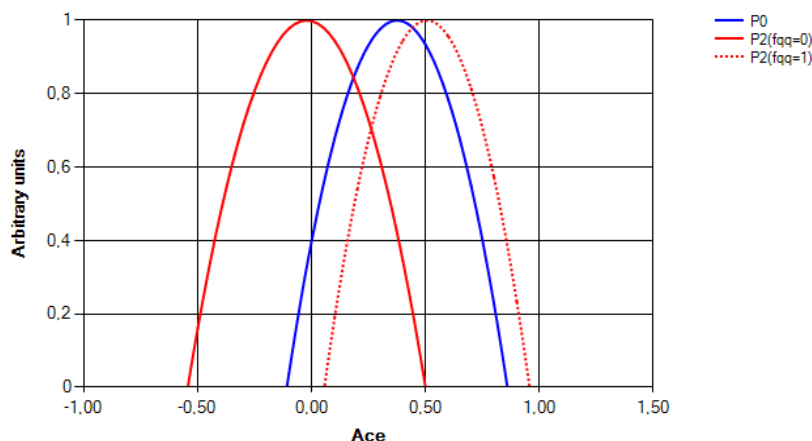


Рис. 4. p -значения для гипотез со спином-0 и спином-2 при $f_{qq} = 0; 1$

В результате анализа p -значений методом CLs выявлено, что чувствительность асимметрии центр–край достигает значений $4\sigma - 8\sigma$ (для f_{qq} в интервале от 0 до 0,4), что существенно превышает чувствительность наблюдаемой, основанной на угловом распределении ($3,5\sigma$).

Литература

1. The Large Hadron Collider // CERN. – 2014. – Режим доступа: <http://home.cern/topics/large-hadron-collider>. – Дата доступа: 13.02.2017.
2. Osland, P. The Higgs-like boson spin from the center–edge asymmetry in the diphoton channel at the LHC / P. Osland, A. A. Pankov, A. V. Tsytrinov // Eur.Phys.J. C. – 2015. – Vol. 75, No. 5. – P. 199.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТАХ НА ПРИМЕРЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ РАВНОПЕРЕМЕННОГО ДВИЖЕНИЯ»

А. Р. Степаненко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. И. Кравченко

Физическое моделирование – вид моделирования, который состоит в замене изучения некоторого явления исследованием его модели, имеющей такую же физическую природу. В науке любой эксперимент, производимый для выявления тех или иных закономерностей изучаемого явления или для проверки правильности и границ применимости, найденных теоретическим путем результатов, по существу представляет собою моделирование, так как объектом эксперимента является конкретная модель, обладающая необходимыми физическими свойствами, а в ходе эксперимента должны выполняться основные требования, предъявляемые к моделированию. При реальных физических движениях тел в газовой или жидкостной среде трение наклад-

дывает огромный отпечаток на характер движения. Каждый понимает, что предмет, сброшенный с большой высоты (например, парашютист, прыгнувший с самолета), вовсе не движется равноускоренно, так как по мере набора скорости возрастает сила сопротивления среды. Даже эту, относительно несложную, задачу нельзя решить средствами «школьной» физики: таких задач, представляющих практический интерес, очень много. После оценки всех параметров можно приступить к численному решению задачи. При этом следует воспользоваться любым из известных методов интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений: методом Эйлера, одним из методов группы Рунге–Кутты или одним из многочисленных неявных методов. Разумеется, у них разная устойчивость, эффективность и т. д. Физическое моделирование можно проводить в следующих пакетах:

1. MatLab. Для имитационного моделирования в системе MatLab используются элементы пакета расширения Simulink. Для задания величин используем элемент Constant находящийся в Simulink/Sources. Для интегрирования – элемент Integrator. Находящийся в Simulink/Continuous/Integrator. Для вывода информации используем элементы Display и Scope. Находящиеся в Simulink/Sinks.

2. Wolfram Mathematica. В Wolfram Mathematica для создания интерактивных моделей можно использовать встроенные функции Dynamic Module и Manipulate. Также в данной системе реализованы основные методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Рунге–Кутты четвертого порядка, метод Дорманда–Принца восьмого порядка, метод Эйлера первого порядка, метод Bogacki–Shampine пятого порядка.

3. Python + Matplotlib. Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения. Для решения научных задач на нем прекрасно подойдет библиотека Matplotlib, предоставляющая большие возможности для построения графиков и анализа данных. Не лишним будет установить интерактивную оболочку IPython, одновременно являющуюся и дистрибутивом многих математических библиотек для данного языка программирования.

4. Java Simulations. Open-Source – проект для языка программирования Java, предоставляющий набор реализованных численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений вплоть до 8-го порядка и набор графических элементов. В отличие от MatLab и Wolfram данные модели не привязаны к платформе. Данный пакет генерирует Java апплеты, а с последней версии и JavaScript апплеты, которые можно запускать даже на IOS и Android (рис. 1) [1], [2].

В данной работе представлен вариант моделирования физического процесса – «свободное падение тела с учетом сопротивления воздуха» в open-source пакете Java Simulations, ранее не описанного в русскоязычной научной литературе. Также проведено схожее моделирование в Wolfram Mathematica и на языке Python для оценки данного метода.

В лабораторной работе «Изучение законов равнопеременного движения» изучаются законы свободного движения тел в поле сил тяжести. В основу рассмотрения положен второй закон Ньютона. Уравнение движения имеет упрощенную форму записи – физическая задача решается без учета ряда сил возникающих при свободном падении тела. В законе движения отсутствуют величины, которые реально определяют свободное падение. Так, при относительно малых скоростях величина силы сопротивления пропорциональна скорости, а при более высоких скоростях сила сопротивления становится пропорциональной квадрату скорости.

Моделирование позволяет оценить, при какой скорости для падающего вертикально шара силы сопротивления и выталкивания сравняются с силой тяжести и движение станет равномерным. Как оказалось, для падающего вертикально алюминиевого шарика

силы сопротивления и выталкивающая сравниваются с силой тяжести, когда скорость будет выходить на постоянное значение – предельную скорость порядка 32,4 м/с и движение становится равномерным. Скорость при которой движение тела в воздухе станет равномерным недостаточно мала, чтобы пренебречь вкладом квадратичной составляющей силы сопротивления, которую легко учесть моделируя движение. Учитывая зависимость ускорения свободного падения от высоты, можно исследовать зависимость температуры, плотности и давления воздуха на разных высотах, а затем вносить поправки в уравнение движения. В пакете Java Simulations реализованы численные методы вплоть до 8-й порядка точности (метод Дорманда–Принца), что значительно сокращает время написания готовой модели.

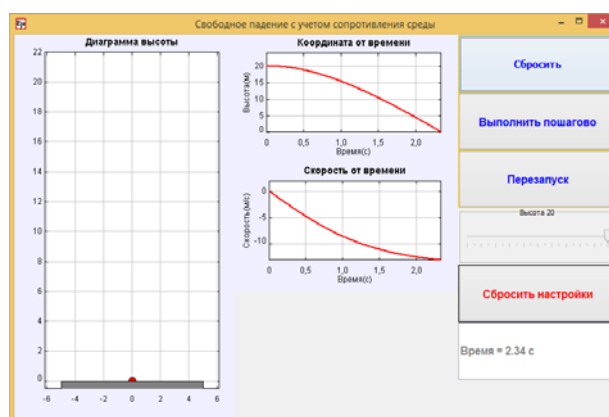


Рис. 1. Внешний вид программы, разработанной в Java Simulations

Сопоставляя кинематические уравнения движения алюминиевого шарика с разных высот, записанные с использованием численного метода Рунге–Кутты, с учетом описанных выше зависимостей, с расчетом составленным на основе математической модели на языке Python, используя библиотеку Matplotlib для визуализации результатов, приходим к выводу, что полученная нами формула дает достаточно хорошие результаты, которые могут быть использованы при расчетах движения тел в поле сил тяжести при изучении равнопеременного движения.

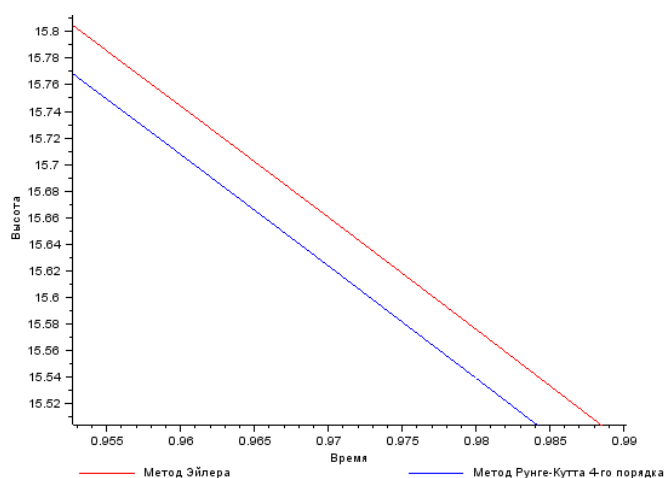


Рис. 2. Сравнение данных, полученных с помощью метода Эйлера и метода Рунге–Кутты 4-го порядка

Сравнение результатов, полученных с помощью численного метода Рунге–Кутты 1-го порядка и метода Рунге–Кутты 4-го порядка, показывает (рис. 2), что для данной задачи нецелесообразно применять методы высоких порядков, достаточно ограничиться вторым порядком точности.

Литература

1. Коткин, Г. Л. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB : учеб. пособие / Г. Л. Коткин, В. С. Черкасский // Новосиб. ун-т. – Новосибирск, 2001. – 173 с.
2. Самарский, А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М. : Наука, 1989. – 432 с.

Научное издание

**ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ,
ЭНЕРГЕТИКИ
И УПРАВЛЕНИЯ**

**МАТЕРИАЛЫ
XVII Международной научно-технической
конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых**

Гомель, 27–28 апреля 2017 года

Ответственный за выпуск *Н. Г. Мансурова*

Редакторы: *Н. В. Гладкова, А. В. Власов, Т. Н. Мисюрова*

Компьютерная верстка: *М. В. Кравцова, Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 25.09.17.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 62,31. Уч.-изд. л. 48,15.

Тираж 50 экз. Заказ № 672/30.

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48