

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УчРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. О. СУХОГО»
ФИЛИАЛ ПАО «КОМПАНИЯ «СУХОЙ» ОКБ «СУХОГО»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Материалы
XII Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные П. О. Сухому)

Гомель, 22–23 ноября 2018 года

Гомель
ГГТУ им. П. О. Сухого
2018

УДК 621.01(042.3)

ББК 34.4

C56

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, доц. *А. А. Бойко*
д-р техн. наук, проф. *М. И. Михайлов*
канд. техн. наук, доц. *Г. В. Петришин*
д-р хим. наук *Е. Н. Подденежный*
канд. техн. наук, доц. *И. Н. Степанкин*
д-р техн. наук, доц. *И. А. Мурашко*
канд. техн. наук, доц. *Т. А. Трохова*
канд. техн. наук, доц. *В. В. Тодарев*
канд. техн. наук, доц. *Ю. В. Крышнев*
канд. техн. наук, доц. *Ю. Н. Колесник*
канд. техн. наук, доц. *А. В. Шаповалов*
д-р геол.-минерал. наук, проф. *В. Д. Порошин*
канд. техн. наук, доц. *А. С. Асадчев*
д-р физ.-мат. наук, проф. *О. Н. Шабловский*
канд. физ.-мат. наук, доц. *А. А. Бабич*
канд. экон. наук, доц. *Н. В. Пархоменко*
канд. экон. наук, доц. *Е. А. Кожжевников*

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

Подготовка и проведение конференции осуществлены на базе
Учреждения образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»

С56 **Современные** проблемы машиноведения : материалы XII Междунар.
науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель,
22–23 нояб. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн.
ун-т им. П. О. Сухого, Фил. ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ;
под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 404 с.

ISBN 978-985-535-393-6.

Представлены новейшие результаты научных исследований в области аддитивных технологий; наноматериалов в машиностроении; компьютерного моделирования технических, механических и биомеханических систем; мехатроники; энерго-сберегающих технологий и альтернативной энергетики; разработки нефтяных и газовых месторождений; физических и математических методов исследования сложных систем; проблем экономики, организации и управления производством.

Для научных и инженерно-технических работников промышленных предприятий и научно-исследовательских учреждений.

УДК 621.01(042.3)

ББК 34.4

ISBN 978-985-535-393-6

© Оформление. Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Михайлов М. И.</i> Моделирование и обеспечение надежности технологических систем, работающих в условиях автоматизированного производства	11
<i>Шаповалов В. М.</i> Рециклинг полимерных материалов	19
<i>Грунтович Н. В., Мороз Д. Р.</i> Проблемные вопросы функционирования и развития региональных систем газоснабжения как структурных единиц топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь	22

**Секция 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
В МАШИНОСТРОЕНИИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<i>Кузнецов Ю. Н., Полищук М. Н.</i> Компьютерное моделирование мобильных роботов, синтезированных на новых принципах	31
<i>Солнцев А. В., Кузнецов Ю. Н.</i> Теоретические исследования 3D-принтера на базе триглайда	34
<i>Кульгейко Г. С., Кульгейко М. П.</i> О функциональной точности поршневых пар аксиальных роторно-поршневых гидромашин	35
<i>Старовойтов Н. А., Рогов С. В.</i> Анализ путей повышения эффективности абразивно-отрезных станков с качающейся шпиндельной бабкой	37
<i>Яцук И. Р., Паньков С. Б., Литвин А. В.</i> Синтез компоновок зажимных патронов эвристическими методами с использованием нейронных сетей	40
<i>Кульгейко Г. С., Тончинский Э. Г.</i> Анализ технологических допусков на элементы гидравлического усилителя типа сопло-заслонка	42
<i>Джораев А., Аннаев М., Гелдиев К.</i> Исследование работы магнитореологического уплотнения	45
<i>Андреев Ю. А., Назорный Е. С.</i> Химмотологический анализ многодвигательной системы	47
<i>Андреев Ю. А., Шмырев Д. О.</i> Снижение затрат на производство и эксплуатацию гидросистемы при повышении качества очистки рабочих жидкостей	50
<i>Капитонов А. В., Сасковец К. В.</i> Разработка новых конструкций и методов исследования точности планетарных радиально-плунжерных передач с промежуточными телами качения	52
<i>Петухов А. В.</i> Роль формализованного описания конструктивных элементов детали при создании ее параметрической 3D-модели	53
<i>Андреев С. Ф., Мирончук О. В.</i> Некоторые вопросы динамики механизма радиального илоскреба	55
<i>Солдатенко Д. С., Басинюк В. Л.</i> Формирование электрической тяги сельскохозяйственного трактора	57
<i>Андреев Ю. А., Кривошеев П. О.</i> Методика определения объемного КПД при испытании на ресурс гидроцилиндра	59
<i>Мицура Д. Ю., Стасенко Д. Л., Андреев Ю. А.</i> Обоснование эффективности использования сдвоенной насосной установки в гидроприводе пресса	61
<i>Тариков Г. П., Акулова Е. М.</i> Исследование контактных напряжений в системе «колесо–рельс»	64
<i>Суторьма И. И.</i> Реализация режима высокого давления одноступенчатым центробежным насосом	65
<i>Голопятин А. В., Кирилюк С. И.</i> Анализ напряженного состояния поверхности элементов сферического сочленения загрузочного рукава зерноуборочного комплекса	66

<i>Чичко А. Н., Яцкевич Ю. В., Чорный А. Д.</i> Разработка программного обеспечения для решения задач машиностроения с использованием численных методов	68
<i>Жукова Ю. В., Баранова Т. А., Чорный А. Д.</i> Использование пакетов прикладных программ для решения задач машиностроения	70
<i>Комраков В. В., Усатов А. Б.</i> Методика определения погрешности измерения микрорельефа поверхности с помощью оптического микроскопа	72
<i>Голубева В. А., Петров И. В., Грунтович Н. В.</i> Уменьшение микроволнистости на кольцах подшипников качения при помощи различных смазок	74
<i>Хиженок В. Ф., Фалько А. С., Столяров А. И.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния эластомерного поглощающего аппарата	75
<i>Мурашко В. С., Мельникова А. Д.</i> Программное средство прогноза изменения температуры в зоне резания	78
<i>Пинчук В. В., Иноземцева Н. В.</i> Исследование влияния давления прессования на качество топливных брикетов	80
<i>Петров И. В.</i> Повышение долговечности и безотказности подшипников качения по результатам контроля на диагностическом стенде	82
<i>Панфилов А. М., Петров И. В., Грунтович Н. В.</i> Применение компьютерных программ в исследовании подшипников качения	84
<i>Щербаков С. А.</i> Определение расчетной силы закрепления заготовки	87
<i>Попов В. Б.</i> Компоненты формализованного описания движения поршня гидроцилиндра подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства	89
<i>Попов В. Б.</i> Агрегатирование плугов по схеме «push-pull» и возможность его формализованного описания	92
<i>Жигалов А. Н.</i> Моделирование процесса резания твердосплавным инструментом, упрочненным аэродинамическим воздействием, в программном продукте DEFORM	94
<i>Капитонов А. В., Сасковец К. В.</i> Разработка новых конструкций и методов исследования точности планетарных радиально-плунжерных передач с промежуточными телами качения	96
<i>Попов В. Б., Лелявская Ю. В.</i> Расчет настраиваемых параметров механизма навески подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства	97
<i>Конявский А. Д.</i> Исследование усталостной прочности зоны крепления механизма поворота силосопровода кормоуборочного комбайна «Полесье-6025»	99
<i>Воронин А. В.</i> Исследование собственных частотных свойств глушителя моторной установки самоходной уборочной сельскохозяйственной машины КЗС-812	101
<i>Тетерич Н. Э., Михайлов М. И.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния угловых фрез	103
<i>Демчук Е. В., Михайлов М. И.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния сборных сверл	105
<i>Михайлов М. И.</i> Исследование точности расположения многогранных пластин относительно корпуса инструмента	107

Секция 2. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

<i>Долгов Н. А., Смирнов И. В.</i> Методология определения характеристик прочности и упругости плазменно-напыленных покрытий	110
<i>Злотников И. И., Хило П. А., Шаповалов В. М.</i> Влияние мультигибридных органоминеральных наполнителей на межфазные взаимодействия в полимерных композиционных материалах и их физико-механические свойства	112
<i>Голубева Е. А., Аль-Абси Р. А., Бокий М. Ю.</i> Математическое моделирование и расчет напряженно-деформированного состояния конструкций из композиционных материалов	113
<i>Астапенко И. В., Васильков Д. М.</i> Особенности горячей прокатки высоких полос в ящичном калибре	114
<i>Власова Д. В., Плохих А. И.</i> Комплексная оценка механических свойств многослойного конструкционного материала на основе сталей 08X18+08X18N10	117

<i>Мартьянов Ю. В.</i> Влияние натяжения металлокорда при намотке на его прямолинейность	119
<i>Бобарикин Ю. Л., Мартьянов Ю. В.</i> Оптимизация деформатора для повышения прямолинейности металлокорда	121
<i>Степанкин И. Н., Поздняков Е. П., Кукареко В. А.</i> К вопросу влияния остаточного аустенита на износостойкость инструментальных сталей У8А И 9ХС	123
<i>Верецагин М. Н., Целуев М. Ю., Целуева С. Н.</i> Структурообразование сплавов при быстрой закалке из расплавов	125
<i>Найзабеков А. Б., Лежнев С. Н., Волокитина И. Е.</i> Исследование возможности деформирования сплава АК9+С методом РКУП	126
<i>Банний В. А., Царенко И. В., Красюк С. И.</i> Модифицированные углеродным наполнителем радиопоглощающие композиционные материалы на основе полиэтилена	129
<i>Давыдова О. В., Дробышевская Н. Е., Подденежный Е. Н., Бойко А. А., Шаповалов В. М.</i> Получение биоразлагаемых композиционных материалов с использованием кукурузного крахмала и изучение их свойств	131
<i>Давыдова О. В., Дробышевская Н. Е., Подденежный Е. Н., Бойко А. А., Шиленкова В. Н.</i> Получение наноструктурированных люминесцентных оксидных порошков методом золь-гель-горение	133
<i>Алексеевко А. А.</i> Особенности формирования композиционных материалов типа металл-диэлектрики и полупроводник-диэлектрик на основе компактированных SiO ₂ -порошков	135

Секция 3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<i>Лежнев С. Н., Панин Е. А., Волокитина И. Е., Волокитин А. В.</i> Моделирование эволюции микроструктуры при деформировании методом «прессование–волочение»	138
<i>Рудченко Ю. А.</i> Определение предельно допустимых токов силовых четырехжильных кабелей до 1 кВ при питании потребителей с нелинейной нагрузкой в программе Elcut	140
<i>Козлов А. В., Рожков А. И.</i> Синтез регуляторов в нелинейных системах автоматического регулирования многомерно-временным операторным методом	141
<i>Гальченко М. И., Васильев Н. В.</i> Прогнозирование тока на основании данных энергомонитора	143
<i>Жукова Ю. В., Терех А. М., Руденко А. И.</i> Исследование конвективного теплообмена и аэродинамического сопротивления двух расположенных бок о бок труб в узком канале при различных числах Рейнольдса	146
<i>Баранова Т. А., Жукова Ю. В., Сверчков С. А., Чорный А. Д.</i> Использование методов численного моделирования для расчета радиатора охлаждения транспортных средств	148
<i>Татуревич И. Ю., Кравченко О. А.</i> Алгоритм классификации текстов	150
<i>Маршалова Г. С., Сверчков С. А.</i> Сравнительный анализ результатов экспериментального исследования и численного моделирования по теплоотдаче однорядного оребренного пучка при смешанной конвекции	151

Секция 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ. МЕХАТРОНИКА

<i>Штена В. Н., Заец Н. А.</i> Метрологические характеристики автоматизированных измерительных комплексов рабочей меры эффективности электротехнологической водоочистки	154
<i>Kryshneu Yu. V., Sakharuk A. Ul., Vernikouski Ul. H., Labaznau R. Yu., Zhuravovich L. M., Matsevila H. L., Velihorskyi O. A., Prystupa A. L.</i> Sensor system for an automated hydrometeorological / environmental station in THEOREMS-DNIPRO international project	156

<i>Логвин В. В.</i> Влияние на энергетические показатели параметров момента сопротивления в механизмах с колебательной нагрузкой	158
<i>Дорощенко И. В., Тодарев В. В.</i> Модель трехфазной асинхронной машины с фазным ротором в MATLAB SIMULINK	159
<i>Логвин В. В., Веннер Л. В.</i> Компенсация малых инерционностей в электроприводах крановых механизмов	161
<i>Погуляев М. Н.</i> Имитационная модель энергосберегающего устройства нагружения резервных электрогенераторов	163
<i>Тодарев В. В., Зайцев А. С.</i> Способ управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем	165
<i>Зуборев Д. Г., Степанцов Н. В., Храбров Е. А.</i> Определитель частотных характеристик электрогидравлической следящей системы в процессе ее непрерывной штатной работы...	166
<i>Крышнёв Ю. В., Якавец У. Д., Хананаў В. А., Захаранка Л. А., Сахарук А. У., Цімаішэнка Я. Г., Патапенка В. А.</i> Распрацоўка аўтаматызаванай станцыі гідраметэаралагічнага/экалагічнага маніторынгу (АНMES) у рамках міжнароднага праекта «THEOREMS-DNIPRO»	168
<i>Кухаренко С. Н., Котова Ю. Е., Козусев Ю. А.</i> Фильтр кондуктивных помех	170
<i>Крышнев Ю. В., Хананов В. А., Ростокина О. М., Яковец В. Д., Кухаренко С. Н., Безручко В. М.</i> Датчик качества воды для автоматизированной станции гидрометеорологического/экологического мониторинга АНMES	171
<i>Захаренко Л. А., Мельников А. В., Березявка А. И.</i> Повышение устойчивости избирательного усилителя с высоким коэффициентом усиления	173
<i>Ковалев А. В., Литвинов Д. А., Ковалев Д. В.</i> Встроенная система мониторинга и сбора статистики режимов работы пескосолераспределителя комбинированной дорожной машины с электрогидрофицированным рабочим оборудованием	175
<i>Ковалев А. В., Карнов В. А., Литвинов Д. А., Ковалев Д. В.</i> Электронная система управления оборудованием распределения жидких противогололедных материалов	176
<i>Ревко А. С., Велигорский А. А., Приступа А. Л., Крышнев Ю. В.</i> Расчет потребляемой мощности станции мониторинга гидрометеорологических параметров реки Днепр	178
<i>Щуплов В. В., Кухаренко С. Н., Красовская Н. А.</i> Выбор полосы пропускания фильтра для канала низкочастотной связи	180
<i>Виноградов Э. М., Кухаренко С. Н., Смыковский О. С.</i> Исследование автономного преобразователя с улучшенной формой напряжения	182
<i>Ильющец Е. А.</i> Использование показаний акселерометров, гироскопов и базовых станций сотовых операторов для позиционирования транспортных объектов	184
<i>Максимович В. С.</i> Способы формирования и регулирования выходного напряжения в многоуровневых преобразователях	187

Секция 5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

<i>Мазаев Н. А., Широков О. Г.</i> Информационная система для учета количества электроэнергии, потребленной в различных диапазонах значений показателей качества электроэнергии	190
<i>Василевич С. В., Малько М. В., Асадчий А. Н., Дегтерев Д. В.</i> Использование композитного материала на основе доломита в качестве катализатора термохимического разложения растительной биомассы	192
<i>Василевич С. В., Малько М. В., Асадчий А. Н., Дегтерев Д. В.</i> Разработка экспериментального стенда для получения жидких продуктов пиролиза путем термохимической конверсии биомассы	194
<i>Джумаев А. Я., Джумаева М. А.</i> Основные условия и некоторые варианты развития солнечной энергетики в Туркменистане	197
<i>Патапенка М. В., Рамш В. Ю., Шаршонь В. Л.</i> Энергоощадна система регулювання термоелектричним обладнанням біогазових установок	199

<i>Зализный Д. И.</i> Расчет параметров фотоэлектрического модуля	201
<i>Горовой А. В., Добродей А. О.</i> Модернизация холодильной системы для получения ледяной воды в филиале ОАО «Рогачевский МКК» по производству сыров в г. Буда-Кошелево	203
<i>Грунтович Н. В., Мороз Д. Р.</i> Использование кластерного анализа для исследования суточных режимов укрупненных групп балансовой структуры региональной системы газоснабжения	206
<i>Дробов А. В., Галушко В. Н.</i> Аналитическое программирование и имитационное моделирование для повышения надежности электроснабжения потребителей железнодорожной отрасли	208
<i>Гочыев Б. Дж., Нурбердыев А. Ч., Джумагельдыева Т. Г.</i> Повышение работоспособности электрической системы согласно условиям местности	210
<i>Гочыев Б. Дж., Бабаев Б. А., Матьякубов А. А.</i> Оценка технико-экономической эффективности модернизации электростанций с газотурбинными установками простого цикла в комбинированный (на примере электростанции МАРЫ-3)	212
<i>Никитенко В. П., Овсянник А. В.</i> Эффективность рекуперации низкопотенциального тепла уходящих дымовых газов в конденсационном теплоутилизаторе	214
<i>Червінський Л. С., Усенко С. М., Сподоба М. О.</i> Дослідження біфілярних котушок Тесла в якості джерела живлення ламп розжарювання	217
<i>Бобрышева С. Н., Мельников С. Ф.</i> Экология и экономика современных источников энергии	219
<i>Васильев Л. Л., Журавлев А. С., Шаповалов А. В., Родин А. В., Олехнович В. А., Драгун Л. А., Данильчик Е. С., Артюх А. А., Ланко В. С.</i> Пародинамические термосифоны в системах для использования низкопотенциального тепла	221
<i>Васильев Л. Л., Харлампиди Д. Х., Тарасова В. А., Журавлев А. С., Кузнецов М. А., Гракович Л. П., Рабецкий М. И.</i> Гелиосистема отопления с двухфазной многокомпонентной жидкостью	223
<i>Тохтаева М.</i> Потенциал использования топливных элементов в местных условиях	226
<i>Грунтович Н. В., Петров И. В.</i> Применение теории распознавания образов при выявлении дефектов в электрических двигателях	228
<i>Жеранов С. А.</i> Анализ динамики энергоемкости ВВП в Республике Беларусь	230
<i>Грунтович Н. В., Маркарянц Л. М., Виноградов А. В.</i> Диагностирование текущего состояния энергоэффективности технологических систем с использованием моделей удельных расходов ТЭР при учете влияющих факторов	232
<i>Ровин Л. Е., Жеранов В. А., Ровин С. Л.</i> Чугун из минераловатных вагранок	234
<i>Овсянник А. В.</i> Тригенерация энергии в турбодетандерных установках на диоксиде углерода	237
<i>Захаренко В. С., Дорощенко И. В., Погуляев М. Н., Тодарев В. В.</i> Имитационная модель силовой части стенда для испытания тяговых электродвигателей по принципу взаимной нагрузки	240
<i>Жильцов А. В., Савченко В. В., Синявский А. Ю.</i> Предпосевная обработка семян в магнитном поле	243
<i>Орешко В. Ю., Артюгин М. С., Жуковец С. Г.</i> Энергосберегающая технология автоматического нанесения лакокрасочных материалов в мебельном производстве ОАО «Гомельдрев»	245
<i>Шепелевич А. М., Савицкая С. А., Шведова О. С.</i> Применение камер интенсивного охлаждения «Маутинг» в колбасном цехе ОАО «Гомельский мясокомбинат»	248
<i>Клещев В. А., Бахур С. И., Бахмутская В. В.</i> Применение пластинчатых рекуператоров тепла в приточно-вытяжных установках птичников РУП «Белоруснефть-Особино»	250

<i>Феськов Д. П., Елкин В. Д.</i> Коэффициент пульсации светового потока различных источников света и способы его снижения	252
<i>Ечишев Н. А., Алферова Т. В.</i> Влияние качества электроэнергии на приборы учета	254
<i>Купцов Д. М., Евминов Л. И.</i> Современный способ грозозащиты распределительных воздушных линий 6–35 кВ от внешних атмосферных перенапряжений	256
<i>Мазаева Е. В., Алферова Т. В.</i> Выбор средств приборного контроля качества электроэнергии с учетом оценки вклада участников электроснабжения в качество электроэнергии	258
<i>Третьяков А. С., Романенко К. Н.</i> Разработка лабораторного комплекса для исследования матричного преобразователя частоты	260
<i>Третьяков А. С., Капитонов О. А.</i> Особенности расчета энергетических параметров асинхронного электродвигателя при питании от несинусоидального источника напряжения	262
<i>Левзикова А. Э.</i> Проверка точности расчета электрического освещения методом удельной мощности	264
<i>Титлов А. С., Тюхай Д. С., Титлова О. А., Березовская Л. В., Адамбаев Д. Б.</i> Разработка энергосберегающих способов управления абсорбционными холодильными агрегатами	266
<i>Холодков А. О., Титлов А. С., Приймак В. Г., Гратий Т. И.</i> Моделирование тепловых режимов дефлегматора комбинированного абсорбционного холодильного прибора	268

Секция 6. РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

<i>Халецкий А. В., Гутман Р. Е., Ткачев В. М., Степанкин И. Н.</i> Сравнительный анализ восстановленной твердости различных материалов, подвергнутых микроиндентированию	271
<i>Карсеко К. С.</i> Оценка эффективности работ по повышению нефтеотдачи пласта на подсолевой карбонатной залежи Вишанского месторождения	273
<i>Демяненко Н. А., Мальшаков Е. Н., Захарова Н. П.</i> Опыт водогазового воздействия и управления процессом на Восточно-Перевальном месторождении.	276
<i>Демяненко Н. А., Хорюшин В. Ю., Колова Т. А., Мазитов Р. Ф., Халин В. В.</i> Массированное воздействие потокоотклоняющими составами. Опыт и перспективы	278
<i>Повзжик П. П., Демяненко Н. А., Захарова Н. П.</i> Учет геолого-физических и технологических факторов при планировании нестационарного заводнения	280
<i>Демяненко Н. А., Захарова Н. П., Мальшаков Е. Н.</i> Опыт планирования и результаты применения нестационарного заводнения на месторождениях ООО «Лукойл – Западная Сибирь»	283
<i>Кученев В. О., Асадчев А. С., Ракутько А. Г.</i> Оценка коррозионной стойкости отдельных материалов нефтегазопроводных труб для условий эксплуатации системы нефтегазосбора месторождений РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»	285
<i>Майлат Я. А., Горбаченко В. С., Демяненко Н. А.</i> Анализ действующих способов борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями на нефтяных месторождениях Припятского прогиба	288
<i>Порошин В. Д., Халецкий А. В., Гримус С. И., Порошина С. Л., Козырева С. В.</i> Основные направления изучения засоленных коллекторов нефтяных месторождений Республики Беларусь	290
<i>Порошин В. Д., Дубинин Б. А., Качура И. В., Шепелева И. С.</i> Проблемы и направления исследования засоленных коллекторов Припятского прогиба промыслово-геофизическими методами	292
<i>Войтов И. В., Цыганов А. Р., Капсаров А. Г., Мамчик С. О.</i> Комплекс трибоакустической обработки водонефтяных эмульсий	294
<i>Коваленко Е. И., Атвиновская Т. В., Асадчев А. С.</i> Совершенствование технологии селективной изоляции водопритока на основе применения реагента ОВП-2	296

<i>Матвеевко Д. С.</i> Обоснование перехода от секционных турбобуров к винтовым забойным двигателям.....	298
<i>Жуковский А. М., Гутман Р. Е.</i> К вопросу оценки упруго-прочностных свойств горных пород неразрушающим методом на примере Ланско-Старооскольской залежи Речицкого месторождения	300
<i>Юсупов Я. И., Гутман Р. Е.</i> Проведение комплексных геомеханических исследований керна для решения задач геомеханического моделирования на примере Речицкого месторождения	303
<i>Кученев В. О., Асадчев А. С.</i> Методика проведения стендовых испытаний коррозионной стойкости нефтепромысловых труб на оборудовании «АА-КОНКОР»	305
<i>Дробышевский В. Д., Асадчев А. С.</i> Определение оптимального режима бурения при инженерно-технологическом сопровождении промысловых испытаний новой техники	307

Секция 7. ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

<i>Комнатный Д. В.</i> Расчет силы взаимодействия между двумя проводящими заряженными шарами методом теорем сложения	310
<i>Комнатный Д. В.</i> Задачи экранирования электростатического поля с известным распределением электрического заряда по поверхности экрана.....	312
<i>Остриков О. М.</i> Угол наклона к поверхности вектора Бюргерса дислокаций у некогерентного двойника, цепочки дислокаций и дислокационной стенки	314
<i>Остриков В. О., Остриков О. М.</i> Постановка задачи о нахождении силы в плоскости двойникования деформируемого призматического двойникующегося монокристалла.....	315
<i>Мельниченко М. С., Стасенко Д. Л.</i> Экспериментальные исследования герметичности клапанной пары.....	316
<i>Почужевский О. Д., Веснин А. В., Кристоичук М. С., Почужевская Ю. Л.</i> Метод определения центра масс большегрузных карьерных автосамосвалов на пневмоколесном ходу	318
<i>Рюмцев А. А., Остриков О. М., Шинкоренко Д. П.</i> Напряженно-деформированное состояние металлического стекла в системе «полоса сдвига–трещина».....	321
<i>Бельский А. Т., Плешкунов И. С.</i> Установление зависимости между углом поворота коромыслового толкателя кулачка и углом удаления	323
<i>Бельский В. А.</i> Дифференциальные системы, эквивалентные системе гармонического осциллятора	325
<i>Гавриш В. Ю., Поляков К. Д.</i> Методика расчета наблюдаемых величин двухчастичных распадов	326
<i>Гавриш В. Ю., Караханов В. П.</i> Биспиноры Дирака в z -представлении	328
<i>Кроль Д. Г., Хорт А. А.</i> Цилиндрическое течение вязкой жидкости при воздействии внешней силы сопротивления.....	331
<i>Иноземцева Н. В., Астрейко А. В.</i> Исследование плоских механизмов высоких классов методом инверсии	332
<i>Лискович М. И., Картавий М. И.</i> Получение заданной плотности и пористости покрытия, получаемого совместной вытяжкой.....	334
<i>Сталович Н. С., Андреев С. Ф.</i> К задаче математического моделирования городских пассажирских перевозок.....	336
<i>Осадчий И. А., Кавриго И. П.</i> Применение параметров мгновенного центра вращения для диагностирования роторных машин	338
<i>Великович Л. Л.</i> О некоторых аспектах математического моделирования сложных систем.....	341
<i>Концевой И. А., Климович В. А.</i> Численное моделирование тепловых свойств двумерных линий роста дендрита в переохлажденном расплаве.....	343
<i>Веремейчик А. И., Хвисевич В. М.</i> Напряженно-деформированное состояние неравномерно нагретого короткого цилиндра в условиях радиационного распухания.....	345

<i>Кирпиченко Ю. Е., Карчевский С. А.</i> Автоматизация трибологических испытаний полимерных композитов на машине трения «палец–диск»	347
<i>Кирпиченко Ю. Е.</i> Новый подход в диагностике граничного смазывания	349
<i>Локтионов А. В.</i> Методы расчета условия равновесия на примере рычажного механизма	351
<i>Локтионов А. В.</i> Расчет кинематических параметров исполнительного механизма с тремя степенями подвижности	352

Секция 8. ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ, ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

<i>Ландова Н. К.</i> Проблемы и перспективы развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь	354
<i>Карчевская Е. Н.</i> Вирусный маркетинг в туристской индустрии: проблемы и перспективы	356
<i>Емельяненко Я. В.</i> Анализ показателей инновационной восприимчивости организаций Гомельской области	358
<i>Ермонова И. В.</i> К вопросу об оценке устойчивого развития лесхозов на территории радиоактивного загрязнения	360
<i>Колпачева Д. А., Бородич Т. А.</i> Совершенствование управления пассажирскими перевозками на основе оценки их качества с помощью анкетного метода	363
<i>Исайчикова Н. И.</i> Стимулирование покупателей в онлайн- и оффлайн-торговле	364
<i>Фильчук Т. Г.</i> Подходы к оценке экономической эффективности энергосберегающих мероприятий	365
<i>Романькова Т. В.</i> Роль, задачи и функции энергологистики	367
<i>Голуб В. А.</i> Совершенствование системы и структуры управления производственным процессом в условиях устойчивого социально-экономического развития	370
<i>Пронузо Ю. С.</i> Организационно-экономический механизм активизации инновационной деятельности в регионе: определение и результативность	371
<i>Авсянникова А. В., Котельникова Н. В.</i> Оценка барьеров внешнеэкономической деятельности предприятия	373
<i>Алексенко Н. А., Сувалова Ю. В.</i> Экономическая оценка инновационного профиля отраслей промышленности Республики Беларусь	375
<i>Пономаренко Е. П.</i> Совершенствование информационного обеспечения управления платежеспособностью предприятия	378
<i>Шах А. В., Лапицкая О. В.</i> Принятие решений в маркетинге	380
<i>Верба И. И., Даниленко А. В.</i> Оценка конкурентоспособности – условие развития промышленности	382
<i>Лапицкая О. В., Карчевская Е. Н.</i> Система организации экспортных продаж лесоматериалов в Беларуси и особенности структуры их экспорта	384
<i>Лившиц Е. И.</i> Источники финансирования инвестиционной деятельности предприятий	387
<i>Андрянчикова М. Н.</i> Человеческий потенциал как основной элемент экономического роста промышленных предприятий	388
<i>Кудравец В. В.</i> Продвижение продукции белорусских предприятий с использованием интернет-ресурсов (на примере ОАО «Гомсельмаш»)	390
<i>Щуплов В. В., Щуплова Н. С.</i> Криптовалюта в Беларуси	392
<i>Parkhomenko N. V., Zheynova A. O.</i> Improving the production structure of the enterprise taking into account organizational changes	394
<i>Кожевников Е. А., Асвинов Р. В.</i> Проблемы снижения затрат в организациях нефтегазодобывающей отрасли Республики Беларусь	396
<i>Астраханцев С. Е.</i> Роботизированная автоматизация бизнес-процессов служащих организаций	398
<i>Пархоменко Н. В., Сычев А. В., Шевелева Т. А.</i> Менеджмент рисков в учреждении высшего образования	400
<i>Бабына И. В.</i> Машиностроительный комплекс: угрозы и риски развития в регионах Республики Беларусь	402

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621.9.02-192

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. И. Михайлов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Переориентация промышленности на выпуск широкого ассортимента продукции малыми сериями (партиями), в совокупности с постоянным снижением трудовых ресурсов европейских государств, привела к изменению использованных ранее форм организации производства и применяемому оборудованию, т. е. к переходу от автоматизированных систем на основе аналогового управления к системам с числовым программным управлением (ЧПУ) [1]–[11]. Достижения в области микроэлектроники способствовали быстрому развитию этого направления в станкостроении и расширению номенклатуры станков с ЧПУ. Из исследований, выполненных в ФРГ, США, Швейцарии и других странах, известно, что эффективное время обработки на традиционных металлорежущих станках и станках с ЧПУ в случае участия человека (оператора) составляет только 6–10 % годового фонда рабочего времени. Известно также, что в структуре времени обработки деталей на основе традиционных технологий доля основного времени составляет только около 30 %, а оставшаяся часть приходится на вспомогательное и подготовительно-заключительное время [1], [4].

Как известно, эффективность работы автоматизированного производства зависит от организации технологического процесса, т. е. от формирования и реализации потоков деталей и инструментов, а также от степени согласованности их взаимодействия. В свою очередь, потоки инструментов формируются в зависимости от степени интеграции оборудования и их можно разделить на: инструментообеспечение (СИО) станков с ЧПУ, гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС).

Анализ применяемых СИО станков с ЧПУ позволяет выделить их составляющие, которые включают в себя: накопители инструментов, устройства транспортировки его из накопителя в рабочую зону и обратно, устройства ориентации, закрепления и контроля инструмента. Обобщив накопленный опыт по разработке и эксплуатации СИО станков с ЧПУ [2], [9], их можно представить в системном виде.

Для обеспечения эффективности работы таких систем используются различные виды структур СИО:

а) на основе накопителей инструментов на каждом многоцелевом станке, обеспечивая при этом автономность их работы и повышая надежность ГПС, однако растет емкость каждого накопителя и снижается эффективность использования режущего инструмента;

б) на основе накопителей средней емкости (30–60 инструментов) на каждом станке и общего инструментального склада небольшой емкости, обеспечивая повышение эффективности использования режущего инструмента, но снижая надежность работы ГПС;

в) на основе накопителей малой емкости (12–30 инструментов) на каждом станке и общего инструментального склада большой емкости, обеспечивая макси-

мальную эффективность использования режущего инструмента и мобильность ГПС, позволяя использовать ее при производстве большой номенклатуры изделий.

В машиностроении значительную часть выпускаемой продукции представляет штучная продукция, поэтому в основу анализа может быть взята штучная производительность, т. е. число изделий, изготовленных в единицу времени [1]–[4].

В автоматизированном оборудовании дискретного действия со вспомогательными ходами цикловая производительность $Q_{ц}$ всегда меньше технологической:

$$Q_{ц} = K\eta,$$

где $K = \frac{1}{t_0}$ – технологическая производительность; $\eta = \frac{1}{Kt_b + 1}$ – коэффициент производительности; t_0 – основное время обработки; t_b – вспомогательное время, включающее время смены инструмента.

Два вида производительности – технологическая и цикловая – характеризуют автоматизированное оборудование с точки зрения как прогрессивности технологического процесса, так и конструктивного совершенства механизмов и устройств, системы управления и т. д. Коэффициент производительности характеризует степень непрерывности протекания технологического процесса.

Для различных систем инструментообеспечения t_b – var, если принять $t_b = \text{const}$, то с увеличением K величина η уменьшается, как показано на рис. 1, а. Кривые I, II, III соответствуют трем значениям различных СИО, при этом $t_{bI} > t_{bII} > t_{bIII}$.

Цикловая производительность с постоянными значениями вспомогательного времени носит асимптотический характер (рис. 1, б). Если уменьшается инструментальная составляющая вспомогательного времени, то производительность $Q_{ц}$ стремится к технологической. Инструментальная составляющая вспомогательного времени зависит от времени смены и наладки инструмента, которая, в свою очередь, определяется конструкцией инструмента, а также зависит от емкости инструментального накопителя.

Емкость накопителя инструментов станка с ЧПУ определяется по критериям максимальной производительности и минимальной себестоимости обработки [2], [5].

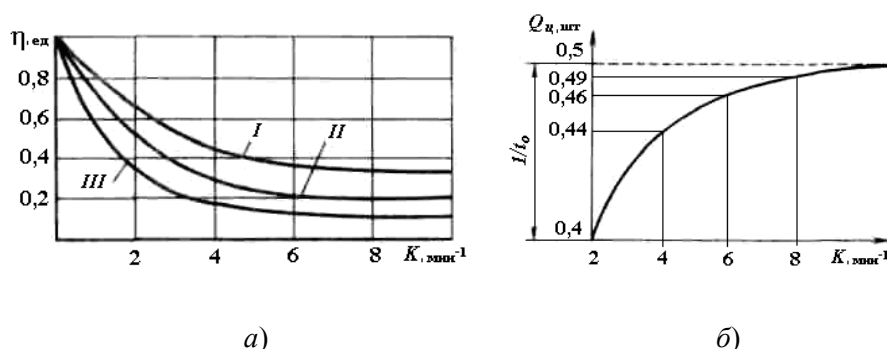


Рис. 1. Графики влияния технологической производительности:
а – на коэффициент производительности; б – цикловую производительность автоматизированного оборудования

Обобщив полученные в работах [2], [7] соотношения для расчета оптимальных режимов резания по критерию производительности, можно произвести оптимизацию емкости накопителя станка с ЧПУ, используя следующее выражение:

$$Q_{ц} = (v, s_0) = R_1 \frac{R_2 - v^{\mu_1} s_0^{\mu_2}}{1/(vs_0) + R_3}, \quad (1)$$

где $R_1 = \frac{K_5}{C_T A}$; $R_2 = \frac{(60 - K_2) C_T}{K_5}$; $R_3 = \frac{K_1}{A}$,

$$K_5 \cong \left\{ \begin{array}{l} \left[1 + \lambda \left(\frac{K_4}{K_3} \frac{b}{b-1} - 1 \right) - \lambda^2 \left(\frac{b}{2b-1} \frac{K_4}{K_3} - \frac{1}{2} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\lambda^3}{2} \left(\frac{b}{3b-1} \frac{K_4}{K_3} - \frac{1}{3} \right) - \frac{\lambda^4}{6} \left(\frac{b}{4b-1} \frac{K_4}{K_3} - \frac{1}{4} \right) \right] K_3 \sqrt[b]{\frac{K_3}{b(K_4 - K_3)}} \right\};$$

$$K_2 = \frac{\sum_{i=1}^r t_{ni} + t_{пт1} + t_{пт2}}{t}; \quad K_3 = \frac{t_{см1}}{t}; \quad K_4 = \frac{t_{см2}}{t};$$

$$A = \frac{L\pi D}{1000}; \quad \lambda = \left(\frac{T^*}{a} \right)^b = \frac{K_3}{b(K_4 - K_3)}; \quad T(v, s_0) = \frac{C_T}{v^{\mu_1} s_0^{\mu_2}}, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^r t_{ni}$ – потери времени по техническим причинам за 1 ч работы (за исключением потерь времени на смену инструмента); r – число технических причин; t_{ni} – потери времени на смену инструмента за 1 ч работы, мин; $t_{пт1}$ и $t_{пт2}$ – соответственно, время оперативной технической подготовки производства и время обслуживания оборудования; C_T, μ_1, μ_2 – константы; L и s_0 – ход и подача инструмента; v – скорость резания, м/мин; D – диаметр обрабатываемого изделия, мм; T^* – интервал времени между плановыми заменами, мин; $t_{см1}$ и $t_{см2}$ – время, затрачиваемое, соответственно, на одну плановую и одну внеплановую замену, мин; τ – текущее время.

$$T^* = \frac{K_3}{(K_4 - K_3)p(T^*)} \left(1 - \int_0^{T^*} p(\tau) d\tau \right), \quad (3)$$

где $p(\tau)$ – плотность вероятности стойкости инструмента.

Для отказов инструментов с микровыкрашиваниями плотность вероятности стойкости согласуется с законом Вейбулла [15]–[17].

Тогда

$$T^* = \frac{T(v, s_0)}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)} \left[\frac{K_3}{b(K_4 - K_3)} \right]^{1/b}. \quad (4)$$

Известно, что для каждого процесса обработки технологическая система «станок – приспособление – инструмент – заготовка» имеет свои предельные значения v и s_0 [15].

Анализ результатов по изложенной методике рассмотрим на примере токарной операции. Диапазоны изменения элементов режима резания находились в пределах: $v = 40-120$ м/мин и $s_0 = 0,1-0,5$ мм/об. Число резервного инструмента определялось по формуле

$$K_{\Pi} = \sum_{i=1}^m (\eta_{\Pi i} - 1),$$

где $\eta_{\Pi i} = \frac{T_{ai}}{T_i}$; T_{ai} – время резания i -м инструментом в автоматическом режиме; T_i – период стойкости i -го инструмента.

Результаты расчетов представлены на рис. 2 и 3.

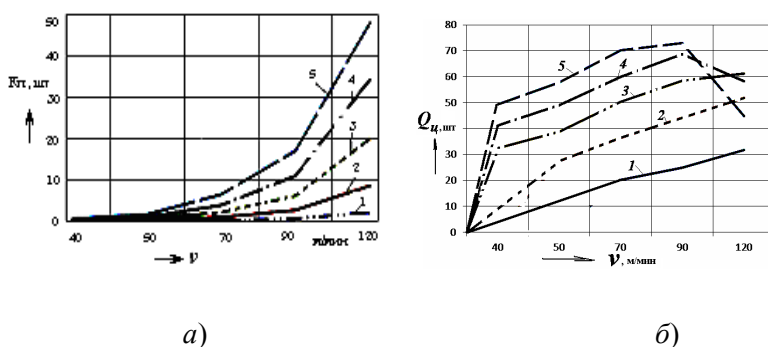


Рис. 2. Графики: *a* – влияния скорости резания на число резервных инструментов в наладке; *б* – производительности при различных значениях подачи: 1 – $s_0 = 0,1$ мм/об.; 2 – $0,2$ мм/об.; 3 – $0,3$ мм/об.; 4 – $0,4$ мм/об.; 5 – $0,5$ мм/об.

Кроме того, число резервных инструментов в наладке при условии его плановой замены увеличивается в 2–2,17 раза, а производительность возрастает при росте скорости резания непропорционально (рис. 2, *б*), т. е. имеется предельный максимум, который зависит от подачи и стойкости инструмента (рис. 3, *б*). Кроме этого эффективность работы СИО зависит от количества резервного инструмента (рис. 3, *а*). Повысить эффективность СИО можно путем применения автоматизированной инструментальной оснастки [5], [15] или надежности элементов СИО.

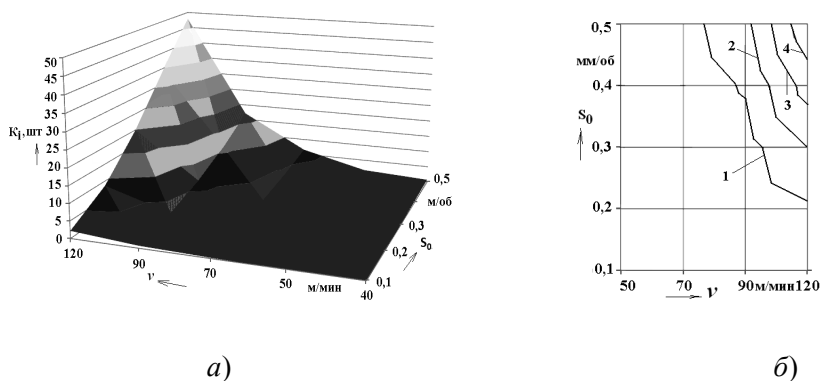


Рис. 3. Графики: *a* – влияния скорости резания и подачи на число инструментов в наладке; *б* – соотношения скорости резания и подачи для различной стойкости инструмента: 1 – $T = 60$ мин; 2 – 26 мин; 3 – 20 мин; 4 – 12 мин

Анализ надежности СИО производился поэтапно [16]–[18].

На первом этапе составлялась структурная схема, при этом допускалось, что система неремонтируема и нерезервируема. Затем рассчитывался риск отказа системы и сравнивался с допускаемым значением. Анализ производился для наиболее часто встречающихся случаев отказа: в виде микроразрушений и износа режущей кромки. При этом было принято, что наработка на отказ в результате износа согласуется с усеченным нормальным законом распределения, а микровыкрашивание – с экспоненциальным [16]. По предварительным экспериментам определялась наработка на отказ каждого элемента T_i и интенсивность отказов λ_i , а также риск при отказе каждого элемента r_i .

Затем рассчитывались: наработка на отказ T_c и риск всей системы $R(t)$:

$$T_c = \frac{\prod_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_i}; \quad R(t) = \sum_{i=1}^n r_i \cdot \lambda_i \cdot \frac{(1 - e^{-\lambda_c t})}{\lambda_c}; \quad \lambda_i = \frac{1}{T_i}; \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (5)$$

Если расчетное значение наработки на отказ и риска меньше допускаемого, производилось резервирование. При этом рассматривалось общее резервирование элементов системы инструментообеспечения, которое может быть реализовано только замещением, либо поэлементное, которое для накопителя и режущего инструмента также реализовывалось замещением, а для режущей части и режущих кромок можно реализовать как с постоянным, так и с резервированием замещением. Тогда вероятность безотказной работы, плотность распределения времени безотказной работы и интенсивность отказов элементов системы с кратностью резервирования m при постоянном резервировании определялось по соотношениям:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=0}^m (1 - P_i(t)); \quad f_c(t) = \sum_{i=0}^m (1 - P_0(t)) \dots f_i(t) \dots (1 - P_m(t)); \quad \lambda_c(t) = \frac{\sum_{j=0}^m f_j(t) \prod_{i=j}^m Q_i(t)}{1 - \prod_{i=0}^m Q_i(t)}, \quad (6)$$

где $P_c(t)$, $P_i(t)$, $P_0(t)$ – соответственно, вероятность безотказности системы, i -го и основного элементов, f_c и f_i – функции распределения системы и элемента, Q_i – функция вероятности отказа.

Для принятых законов распределения были рассчитаны численные значения показателей, которые представлены на рис. 4, при:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi(0,5 + \Phi_0(\frac{m_0}{\sigma_0}))}} e^{-\frac{t-m_0}{2\sigma_0^2}}; \quad P(t) = \frac{0,5 - \Phi_0(\frac{t-m_0}{\sigma_0})}{0,5 + \Phi_0(\frac{m_0}{\sigma_0})},$$

где $\Phi_0(t)$ – функция Лапласа.

Как видно на рис. 4, a , с увеличением кратности резервирования увеличивается среднее время безотказной работы и уменьшается дисперсия.

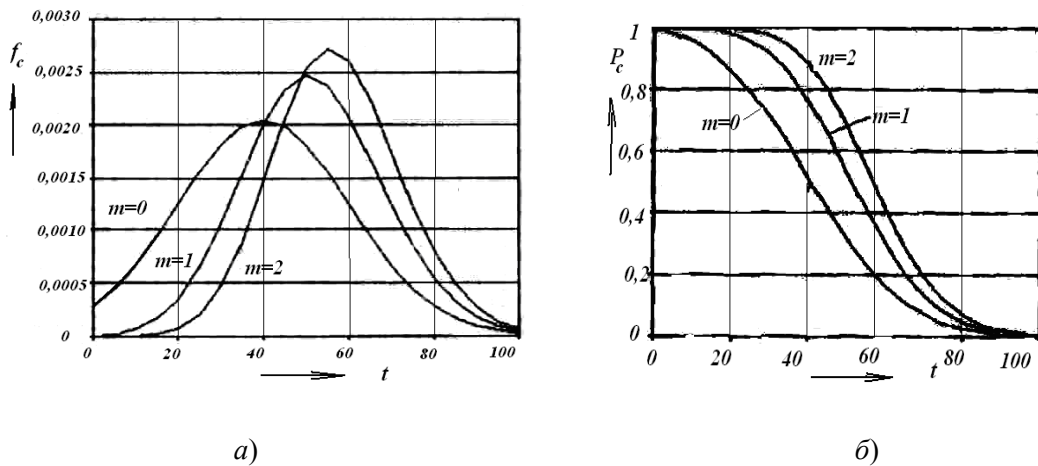


Рис. 4. Графики: а – плотности распределения времени до отказа; б – вероятности безотказности работы системы при различной кратности резервирования с усеченным нормальным законом распределения

Анализ рис. 4, б позволяет заключить, что на вероятность безотказности значительное влияние оказывает кратность резервирования, причем этот эффект тем существеннее, чем меньше m . Анализ рис. 5, а позволяет заключить, что большей кратности резервирования соответствует меньшая интенсивность отказов.

Как видно на рис. 5, б, при постоянной интенсивности отказов основной системы интенсивность отказа резервированной системы увеличивается с течением времени, стремясь к постоянной величине, равной интенсивности отказов нерезервированной системы.

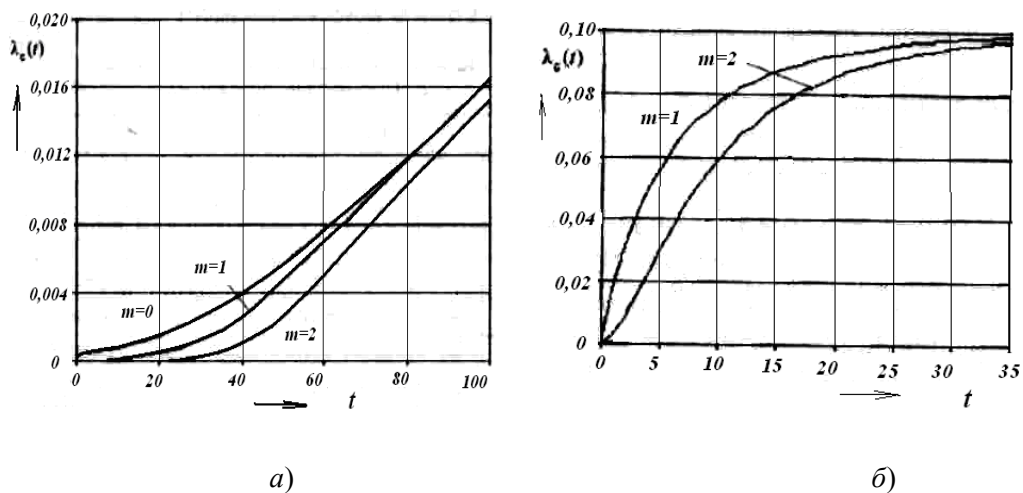


Рис. 5. Графики интенсивности отказа системы при различной кратности резервирования: а – с усеченным нормальным законом распределения; б – экспоненциальным

Для отдельного резервирования, которое проще технически реализовать, формула вероятности безотказной работы имеет вид:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=0}^m \left(1 - \prod_{j=1}^n P_{ij}(t) \right), \quad (7)$$

где n – число элементов нерезервированной системы; $P_{ij}(t)$ – вероятность безотказной работы элемента с номером (i, j) .

Постоянный резерв сложно технически реализовать в системах инструментального обеспечения, поэтому часто используются конструкции с резервированием замещением. В этом случае вероятность безотказной работы, плотность распределения времени до отказа, и среднее время безотказной работы системы определяются выражениями:

$$P_c(t) = P_0(t) + \sum_{i=1}^m f_0 \times f_i \times \dots \times f_{i-1} \times P_i(t); f_c(t) = f_0 \times f_i \times \dots \times f_m(t); T_1 = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \sum_{i=0}^m T_{1i}, \quad (8)$$

где $f_0 \times f_i \times \dots \times f_m(t)$ – свертки функций.

Для оценки эффективности вида резервирования использовалась функция выигрыша в виде:

$$G(x, m) = \frac{1}{(1 - e^{-x})^m},$$

где $x = \lambda t$.

График функции представлен на рис. 6.

Анализ рис. 6 позволяет заключить, что с ростом x выигрыш надежности $G(x, m)$ убывает, т. е. чем выше надежность резервированной системы и чем меньше время ее работы, тем выше эффективность резервирования. С ростом кратности резервирования выигрыш увеличивается, причем рост тем значительней, чем меньше λt .

Вероятность безотказной работы системы при отдельном резервировании замещением определяли по выражению

$$P_c(t) = \prod_{j=1}^n \sum_{i=0}^m f_{0j} \times f_{1j} \times \dots \times f_{i-1,j} \times P_{ij}(t), \quad (9)$$

где $P_{ij}(t)$ – вероятность безотказной работы элемента с номером (i, j) ; $f_{ij}(t)$ – плотность распределения времени до отказа элемента, $i = 0, 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$.

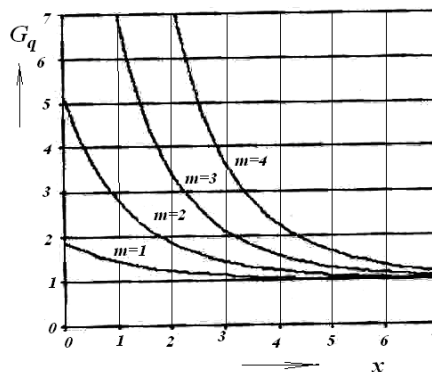


Рис. 6. График выигрыша надежности при резервировании замещением

Для всей системы инструментального обеспечения, в которой n – общее число элементов, $(n - m)$ основных и m резервных элементов, показатели надежности соот-

ветствовали для мажоритарных систем. Отказ такой системы наступает при отказе $(m + 1)$ -го элемента, тогда:

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^m C_n^i Q^i(t) P^{n-1}(t); f_c(t) = (n - m) C_n^m Q^m(t) P^{n-m-1}(t) f(t); \quad (10)$$

$$\lambda_c(t) = \frac{(n - m) C_n^m Q^m(t) P^{n-m}(t)}{\sum_{i=0}^m C_n^i Q^i(t) P^{n-1}(t)} \lambda(t). \quad (11)$$

Для всей системы инструментообеспечения с резервированием замещением показатели надежности соответствовали показателям при скользящем резервировании, тогда вероятность безотказной работы системы при условии, что все элементы системы имеют одинаковую надежность, равна:

$$P_c(t) = \sum_{k=0}^m \sum_{k_1+k_2+\dots+k_{n-m}=k} f^{+(k_1)} \times P(t) f^{*(k_2)} \times P(t) \dots f^{*(k_{n-m})} \times P(t). \quad (12)$$

Для работы инструментов в условиях с выраженной геометрической или физической анизотропией свойства показателей работоспособности элементов системы согласуются с экспоненциальным законом, тогда вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и среднее время безотказной работы системы, соответственно, равны:

$$P_c(t) = \sum_{k=0}^m \frac{((n - m)\lambda t)^k}{k!} e^{-(n-m)\lambda t}; \quad \lambda_c(t) = (n - m)\lambda \frac{((n - m)\lambda t)^m}{\sum_{k=0}^m \frac{((n - m)\lambda t)^k}{k!}}; \quad T_{1c} = \frac{m + 1}{n - m} T_1. \quad (13)$$

При практической реализации необходимо уточнить полученную структуру (рис. 7), которая реализуется изображением либо структурной схемы СИО, габаритного чертежа, либо габаритной планировки в двух проекциях.

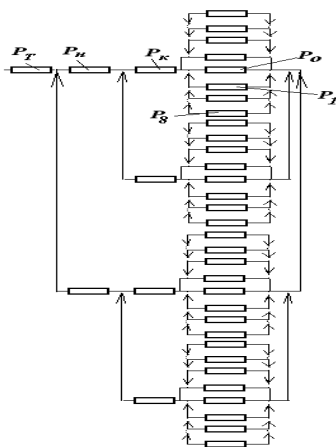


Рис. 7. Эскиз структурной схемы системы инструментообеспечения с резервированием

Литература

1. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 239 с.
2. Лищинский, Л. Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Л. Ю. Лищинский. – М. : Машиностроение, 1990. – 312 с.
3. Ящерицын, П. И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении : монография / П. И. Ящерицын, Л. М. Акулович, М. Л. Хейфиц. – Минск : Технопринт, 2006. – 248 с.
4. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А. С. Васильев [и др.]. – Тула : ТулГУ, 2003. – 271 с.
5. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И. Л. Фадюшин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
6. Каштальян, И. А. Повышение эффективности использования станков с ЧПУ в условиях нестационарного резания / И. А. Каштальян. – Минск : БНТУ, 2008. – 311 с.
7. Monitorowanie ostrza skrawajacego. Metody konwencjonalne i sieci neuronowe / Z. Adamczyk [and other] ; unter a rel. J. Kosmola. – Warszawa : WNT, 1996. – 244 s.
8. Byrne, G. Tool Condition Monitoring (NCM). – The status of research and Industrial Application // CIRP Annals. – 1995. – Vol. 44, № 2. – P. 541–568.
9. Хартли, Дж. ГПС в действии: пер. с англ / Дж. Хартли. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
10. Kosmol, J. Automatyizacja obrabiarek i obrobki skrawaniem. Wyd. 2. – Warszawa : WNT, 2000. – 444 s.
11. Козловский, В. А. Эффективность перенастраиваемых роботизированных производств / В. А. Козловский. – Л. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
12. Митрофанов, В. Г. Живучесть гибких производственных систем / В. Г. Митрофанов, А. С. Старостин // Станки и инструмент. – 1990. – № 12. – С. 9–11.
13. Шведенко, В. Н. Теоретический расчет закона распределения стойкости резцов при точении / В. Н. Шведенко // Вестн. машиностроения. – 1989. – № 10. – С. 49–51.
14. Нодельман, М. О. Идентификация переодичности смены режущего инструмента / М. О. Нодельман // Вестн. машиностроения. – 1989. – № 7. – С. 46–48.
15. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.
16. Схиртладзе, А. Г. Надежность и диагностика технологических систем / А. Г. Схиртладзе, М. С. Уколов, А. В. Скворцов. – М. : Новое знание, 2008. – 518 с.
17. Шимарев, В. Ю. Надежность технических систем / В. Ю. Шимарев. – М. : Издат. центр «Академия», 2010. – 304 с.
18. Дианов, В. Н. Диагностика и надежность автоматических систем / В. Н. Дианов. – М. : Изд-во МГИУ, 2005. – 378 с.

УДК 678.027.028.6.574

РЕЦИКЛИНГ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. М. Шаповалов

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

Разработка новых материал- и ресурсосберегающих технологий, базирующихся на процессах переработки отходов полимеров, является одним из приоритетных направлений в современном материаловедении. Это связано с увеличением в мире объемов производства композиционных материалов и изделий из них. Наряду с этим происходит накопление полимерных отходов. Особенно остро стоит пробле-

ма рециклинга и утилизации полимерных отходов, образуемых в твердых коммунальных отходах, значительная часть которых во многих странах используется незначительно. В то же время, учитывая важность этой проблемы для будущих поколений, в странах Европы ее решению уделяется большое внимание. Так, в Германии в настоящее время рециклингу подвергается порядка 80–90 % полимерных отходов, во Франции 40–50 %, в Польше 25–35 %, в России 15–20 %. В Республике Беларусь перерабатывается около 10–15 % полимерных отходов, образуемых в твердых коммунальных отходах. Отсутствие продуманных действий по утилизации и рециклингу полимеров, как правило, приводит к необходимости их захоронения, что создает предпосылки для образования экологических проблем. Поэтому реализация рециклинговых технологий будет позволять решать не только вопросы охраны окружающей среды, но и увеличивать объемы вторичной переработки полимерных материалов (ПМ), обеспечивая снижение увеличивающегося дефицита первичного *полимерного сырья*, которое изготавливается из нефтепродуктов. Прогнозные показатели объемов углеводородного сырья в мире свидетельствуют о том, что их запасы не превышают 150 лет, а запасы угля порядка 300–400 лет. В то же время использование отходов полимеров позволит существенно экономить первичное сырье (прежде всего нефть) и электроэнергию. Также положительной стороной рециклинга и утилизации полимерных отходов является и то, что в процессе переработки достигается получение дополнительного количества потребительских продуктов для различных отраслей народного хозяйства без повторного загрязнения окружающей среды. По этим причинам переработка полимерных отходов является не только экономически целесообразным, но и экологически предпочтительным решением проблемы их использования.

Однако вследствие пониженных физико-механических характеристик отходы полиолефинов получили ограниченное применение в производстве изделий из полимерных композиционных материалов. Одним из путей увеличения жизненного цикла вторичных полимеров является подход, основанный на использовании комплексных модификаторов, т. е. модификаторов, способных инициировать повышенный уровень эксплуатационных свойств вторичного полимера как в процессе переработки, так и при его эксплуатации в изделии. Создание такого рода материалов в Беларуси находится на начальной стадии, и связано это в основном с отсутствием отечественных стабилизирующих добавок. Использование зарубежных добавок требует существенных валютных средств, что не соответствует приоритетным направлениям государства в импортозамещающей политике. Поэтому получение высококачественного продукта с использованием полимерных отходов становится главной задачей при создании рециклинговых технологий, так как их использование позволяет получать новые материалы с заданным комплексом стабильных эксплуатационных свойств и обеспечивает возможность наиболее рационального их применения в промышленности.

Исходя из специфических особенностей, которые присущи процессу рециклинга ПМ, предложен концептуальный подход, учитывающий технологические, эколого-экономические предпосылки при их вторичной переработке в полимерное сырье и последующее формование из них соответствующих изделий различного назначения. Основой такого подхода является их подготовка, определяющая оптимальную реализацию процессов сортировки, измельчения, мойки, агломерации и гранулирования полимерных отходов, обеспечивая получение наилучших результатов при формировании изделий машиностроительного, строительного и иного назначения. При этом получение конечного продукта с высокими потребительскими свойствами во многом будет зависеть и от улучшения его эксплуатационных характеристик, ко-

торые, в свою очередь, определяются свойствами вторичного полимерного сырья. Поэтому вопросы модифицирования полимерных отходов представляются важным аспектом при реализации рециклинговых технологий.

При правильной обработке технологических отходов ПМ не должно происходить фотолитических повреждений материала, так как сохраняют свое действие введенные в первичное сырье стабилизаторы. Однако при переработке отходов потребления стабилизация вторичного сырья с целью сохранения свойств в процессе переработки и при эксплуатации их в атмосферных условиях представляется важной задачей. Это касается не только переработки, но и эксплуатационных свойств продуктов рециклинга, что требует введения соответствующих модифицирующих добавок.

Высокая эффективность существующих в настоящее время модификаторов дает возможность решать проблемы сохранения свойств полимеров путем ввода в них небольшого количества добавок (порядка 0,2–0,4 % от массы полимера). Однако при этом возникает проблема равномерного распределения их в массе полимера. Наиболее рациональным способом их введения в полимеры является использование их концентратов, особенно многофункциональных, содержащих несколько аддитивов, каждый из которых выполняет в полимере свою функцию. Для уменьшения или полного исключения снижения молекулярной массы вторичных полимеров при переработке в них вводят специальные добавки. Так, фирма L. Bruggemann KG (Германия) предложила для переработки ПА-6 применять добавки, которые способствуют сохранению молекулярной массы полимера и тем самым обеспечивают его более высокую воспроизводимость по свойствам и технологичности при повторной переработке по сравнению с полимерами, где используют сшивающие агенты. Среди наполнителей чаще всего используются тальк, каолин, древесная мука и мел. Наполнители повышают модуль упругости, твердость материала, формоустойчивость изделий при воздействии на них тепла, однако при этом способствуют снижению прочности при растяжении, ударной вязкости и относительного удлинения при разрыве. Как правило, наполнители ухудшают перерабатываемость полимеров вследствие снижения их текучести. В то же время при наполнении рециклятов возможно улучшение их эксплуатационных характеристик, что способствует перспективности такого направления в рециклинге полимеров.

Несомненно, существование рынка конечных продуктов с использованием вторичных полимеров является основой для развития рециклинговых технологий. Химические и структурные изменения, происходящие в ПЭТФ и других полимерных отходах при их подготовке и переработке, обуславливают необходимость их модифицирования с целью предотвращения снижения молекулярной массы и повышения показателей механических свойств, особенно ударной вязкости, которая катастрофически падает при увеличении кратности переработки. Важны исследования по подбору агентов совместимости вторичных полимеров в смеси, стабилизирующих и антиокислительных модификаторов, обеспечивающих получение композитов с высокой однородностью и перерабатываемостью.

Таким образом, эффективность рециклинга полимерных материалов связана с разработкой новых функциональных добавок, обеспечивающих совместимость полимерных отходов в композиционной системе, что позволит создавать новые перспективные композиционные материалы на основе вторичного полимерного сырья. В совокупности с новыми типами оборудования для рециклинга ПМ будут созданы условия для эффективной утилизации полимерных отходов и получения на их основе качественной продукции с привлекательной для потребителя ценой. Важно, что такой подход будет способствовать сохранению первичного полимерного сырья и уменьшать для этого использование нефтяного углеводородного сырья.

УДК 620.9-62-93

**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
И РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ
КАК СТРУКТУРНЫХ ЕДИНИЦ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Н. В. Грунтович¹, Д. Р. Мороз²

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгаз»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Газ был и остается основным видом топлива в Республике Беларусь. На сегодняшний день Беларусь является самой газифицированной страной в мире. Уровень газификации в сельской местности составляет 38 %, в городах – 77 %. Газоснабжающие организации обеспечивают природным газом все предприятия страны (более 12000). Одним из крупнейших потребителей газа Беларуси является Лукомльская ГРЭС, которая вырабатывает около 40 % необходимой для потребителей электроэнергии (ЭЭ).

Официальные данные Белстата показывают [1], что в структуре валового потребления ТЭР Республики Беларусь в 2017 г. доля природного газа составляет 61 %. Из всего объема потребленного газа в 2017 г. 90 % поступило в организации (17505 млн м³), а 10 % отпущено на нужды населения республики (1947 млн м³). 70 % от общего потребления газа использовалось для производства электрической и тепловой энергии (ТЭ) (табл. 1). По оценкам специалистов, ввод в эксплуатацию собственной атомной станции позволит лишь на 20–30 % снизить его потребление. Высвобождение природного газа от энергетиков будет компенсировано новыми проектами в промышленности, например, это строительство двух калийных предприятий в Петриковском и Любанском районах – потенциальных потребителей природного газа, или строящийся завод по производству белой жести в Витебской области. Кроме того, существуют и другие проекты в промышленном секторе республики, которые потребуют дополнительных объемов газа. Нельзя сбрасывать со счетов и проекты по газификации такой социально значимой группы потребителей, как население. Ежегодно газифицируется 100–120 населенных пунктов.

Таблица 1

**Динамика структуры потребления газа (включая попутный)
по укрупненным группам использования**

Год	2013	2014	2015	2016	2017
Потреблено в Республике Беларусь, млн м ³	20586	20427	19121	19002	19452
Организации, млн м ³ , в том числе	18709	18588	17328	17030	17505
	90,9 %	91,0 %	90,6 %	89,6 %	90,0 %
Производство ЭЭ, ТЭ, млн м ³	14340	14376	13495	13306	13701
	69,7 %	70,4 %	70,6 %	70,0 %	70,4 %
Отпущено населению, млн м ³	1877	1839	1793	1972	1947
	9,1 %	9,0 %	9,4 %	10,4 %	10,0 %

Если посмотреть на структуру потребления топлива, используемого для производства электрической и тепловой энергии в 2017 г., то составляющая природного газа там достигает 91 % (рис. 1).

Структура потребления газа для производства ЭЭ и ТЭ на тепловых электростанциях и котельных показывает, что 98,8 % всей вырабатываемой в стране ЭЭ осуществляется за счет газа, а в производстве ТЭ доля газа достигает 87,2 % (табл. 2).

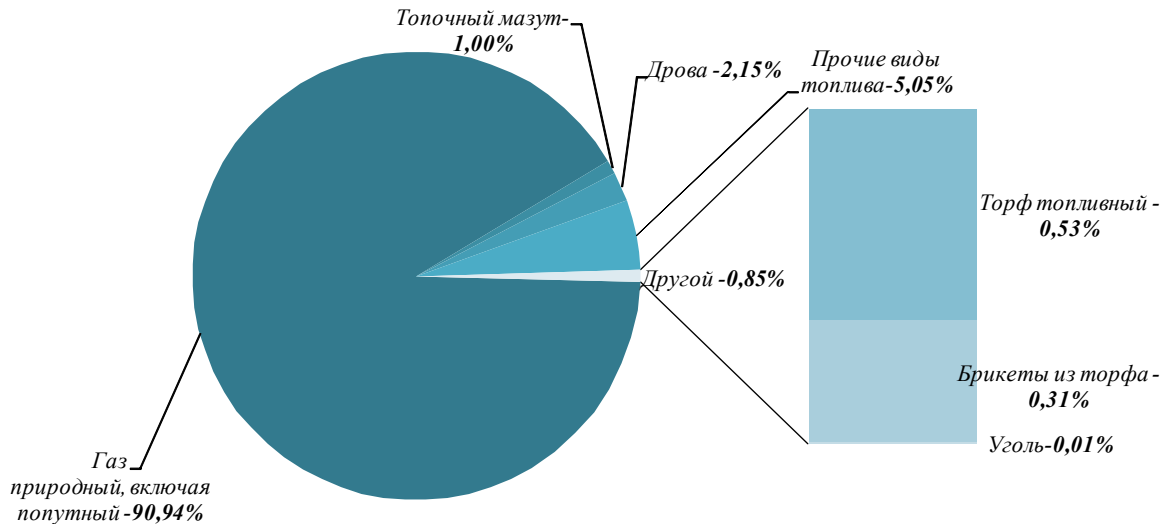


Рис. 1. Балансовая структура потребления топлива для производства ЭЭ и ТЭ в 2017 г.

Таблица 2

Структура потребления газа для производства ЭЭ и ТЭ на тепловых электростанциях и котельных в 2017 г.

Потребитель	Расход газа, тыс. т	% от общего потребления	Производство электрической и тепловой энергии			
			ЭЭ, млн кВт·ч	% от общего производства ЭЭ	ТЭ, тыс. Гкал	% от общего производства ТЭ
Конденсационные электростанции общего пользования	3548	22,4 %	13188	39,4 %	181	0,3 %
ТЭЦ общего пользования	7929	50,0 %	16836	50,2 %	29408	55,6 %
ТЭЦ, мини-ТЭЦ и другие установки для комбинированного производства тепловой и электрической энергии организаций	1620	10,2 %	3254	9,7 %	6357	12,0 %

Окончание табл. 2

Потребитель	Расход газа, тыс. т у. т.	% от общего потребления	Производство электрической и тепловой энергии			
			ЭЭ, млн кВт · ч	% от общего производства ЭЭ	ТЭ, тыс. Гкал	% от общего производства ТЭ
Районные котельные общего пользования	1524	9,6 %	–	–	9606	18,1 %
Котельные установки организаций	1199	7,6 %	–	–	7380	13,9 %
Собственные электрогенераторы организаций	51	0,3 %	231	0,7 %	–	–
Итого по газу	15871	100,0 %	33509	100,0 %	52932	100,0 %
Всего топлива, тыс. т у. т.	17451	90,9 %	33924	98,8 %	60692	87,2 %

В настоящее время протяженность разветвленной системы трубопроводов составляет более 61 тыс. км. Газовый комплекс страны – сложная техническая система, состоящая из систем более низкого уровня, обеспечивающих его функционирование на различных уровнях всего технологического процесса. Основу газового комплекса страны составляют шесть (по количеству областей) региональных систем газоснабжения (РСГС).

На сегодняшний день каждая РСГС – это большая (как по количеству входящих в нее элементов, так и по количеству и структуре потребителей) и многоуровневая, динамическая технологическая система, основной задачей которой является обеспечение безопасной и бесперебойной подачи природного и сжиженного газа потребителям. Технологическая система газоснабжения в общем виде может быть представлена в виде трех подсистем: «Головные сооружения»; «Компрессорные станции»; «Газораспределительные станции» (ГРС); «Подземные хранилища газа»; «Линейные сооружения». Каждая из подсистем имеет свои конечные элементы, количество которых может измеряться тысячами единиц.

Региональную систему газоснабжения можно представить в виде трехуровневой системы со своими подсистемами: линейная часть (газовая сеть); подсистема распределения и регулирования; подсистема хранения газа. Так, для ГомРСГС общая протяженность газовой сети (линейная часть) составляет 8980,7 км, а подсистема «Распределения и регулирования» представлена 459 газорегуляторными пунктами, в том числе 460 телемеханизированными, 7 газорегуляторными установками на котельных, 488 шкафными газорегуляторными пунктами (ШРП), 13721 домовым регулятором (локально у потребителей).

Начальный уровень РСГС, или нулевой, представляет собой магистральный газопровод с отводящими газораспределительными станциями, посредством которых газ поступает в распределительную сеть. Первый уровень – это газопроводы высокого давления (первая категория), в которые газ поступает из ГРС. В зависимости от протяженности и количества отборов давление газа может составлять от 1,2 до 0,3 МПа. Обычно этот газопровод охватывает кольцом снабжаемый населенный пункт (го-

род). Для ГомРСГС общая протяженность сетей высокого давления составляет 2339,8 км. Из этого газопровода газ поступает через отводы в систему ГРП и ШРП, где его давление понижается до уровня среднего (0,3–0,05 МПа) либо низкого давления 3–5 кПа для подачи потребителю. Второй уровень – это газопроводы среднего давления с протяженностью для рассматриваемой системы 1586,7 км. По этим газопроводам газ подается в городские районы. Из второго уровня газ редуцируется до давления 5–3 кПа через отводящие ГРП и ШРП. Третий уровень – это газопроводы низкого давления, через которые газ поступает к конечным потребителям. Для обследуемой РСГС общая протяженность сетей низкого давления достигает 5031,3 км.

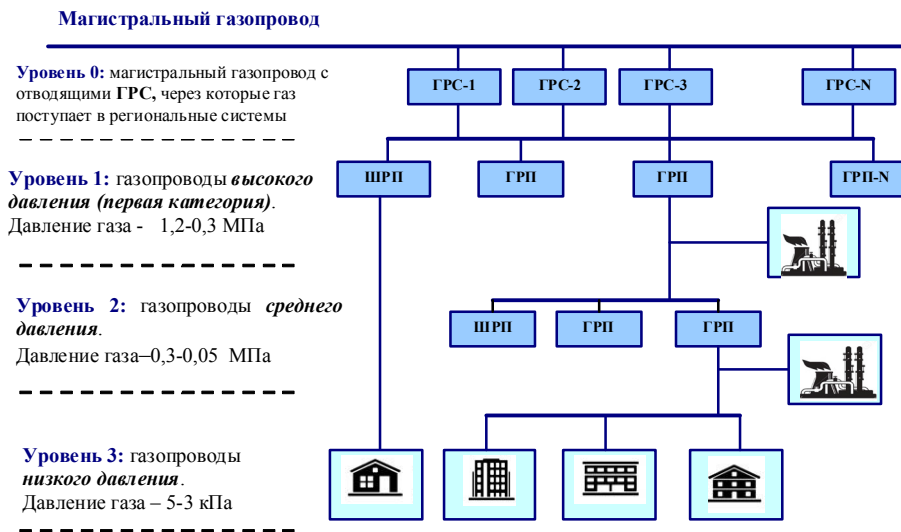


Рис. 2. Уровни региональной системы газоснабжения

Устойчивое функционирование и развитие газоснабжающих систем в республике невозможно без формирования системы управления, основанной на использовании методологии системного анализа, заложенного академиком Л. А. Мелентьевым для систем энергетики еще в 60-х гг. прошлого столетия, и развивающейся в трудах его учеников и последователей [2]–[7].

Из всего комплекса задач функционирования и развития РСГС наиболее острыми на сегодняшний день являются:

1. Составление заявок планируемого объема поставок газа.
2. Разработка проектов развития и реконструкции систем газоснабжения и хранения газа.
3. Формирование тарифов на газ для различных групп потребителей при учете рентабельности их производств.

Рассмотрим указанные задачи, их важность как для потребителей, так и РСГС и пути их решения.

1. *Составление заявок планируемого объема поставок газа.* Актуальность данной задачи объясняется требованием российских поставщиков газа: отклонения от заявленных объемов потребления газа требуются оплачивать по скорректированным тарифам. В публикациях российских ученых отмечается, что для определения направлений и объемов потоков газа по сети, необходимости ввода в эксплуатацию новых месторождений и магистральных газопроводов нужно рассматривать разви-

тие всей единой системы газоснабжения (ЕСГ) в комплексе с учетом пропускных способностей магистральных газопроводов, цен и тарифов на добычу и транспорт газа, *потребности в газе субъектов РФ и договоров по экспортным поставкам*. В Российской Федерации на основе Приказа от 15.12.2009 № 411-э/7 «Об утверждении Методических указаний по регулированию тарифов на услуги по транспортировке газа по газораспределительным сетям» при перерасходе газа без предварительного согласования с поставщиком, газотранспортной или газораспределительной организацией покупатель оплачивает дополнительно объем отобранного им газа сверх установленного договором и стоимость его транспортировки за каждые сутки с применением коэффициентов: с 15 апреля по 15 сентября – 1,1; с 16 сентября по 14 апреля – 1,5. *Это правило не применяется только к объемам газа, израсходованным населением и коммунально-бытовыми потребителями.*

В настоящее время в РСГС задача решается методом прямого счета – «от достигнутого», т. е. формирования объема поставок на основе заявок по основным группам потребителей. Такой подход чаще всего влечет завышение планируемых объемов поставки газа.

Решение данной задачи может быть обеспечено двумя подходами:

– на основе моделей потребления газа по укрупненным группам потребителей РСГС;

– «снизу-вверх» на основе сбора информации от потребителей РСГС, которые в свою очередь формируют заявку на газ для своего производства при учете основных влияющих факторов.

В первом случае использование моделей для различных групп потребителей обосновано такими системными свойствами, как *эмерджентность* и *инерционность* (один из принципов развития). Эмерджентность является одной из форм проявления диалектического закона перехода количественных изменений в качественные [8]. О том, что объединение элементов создает новое качество, человечество знало давно, еще со времен Аристотеля. Чем проще система, чем из меньшего числа элементов и связей она состоит, тем меньше проявляет она системное качество, и чем сложнее система, тем более непохожим является ее системный эффект по сравнению со свойствами каждого элемента. Принцип инерционности системы – способность системы изменять свой потенциал через некоторое время после начала воздействия на нее со стороны внутренней или внешней среды, а завершение изменений в системе происходит через какое-то время после окончания воздействия. То есть изменение состояния большой системы не может происходить скачкообразно. Эти особенности позволяют осуществлять прогнозирование показателей функционирования системы как на основе временных трендов, так и многофакторных регрессионных моделей.

Проведенные исследования для группы промышленных и сельскохозяйственных потребителей ГомРСГС показали, что факторами, оказывающими влияние на годовой объем потребления газа, являются среднегодовая температура наружного воздуха и валовой региональный продукт (ВРП) данной группы потребителей [10]. С использованием разработанной регрессионной модели зависимости объема потребляемого газа от указанных факторов, построенной по месячным данным за 2012–2015 гг., выполнен прогноз потребления газа на 2016 г. Погрешность расчета по модели $W_{\text{год}} = -4444,6t + 3325 \cdot \text{ВРП} + 412754,4$ составила 3,6 % (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты прогнозирования годового объема потребления газа
для промышленных и сельскохозяйственных потребителей**

Год	Фактическое значение, тыс. м ³	Прогнозное значение по годовой модели, тыс. м ³	Погрешность прогноза, %
2012	696407,7	717012,4	-3,0
2013	728608,6	703488,1	3,4
2014	705607,5	706826,9	-0,2
2015	703856,6	688050,8	2,2
2016 (прогноз)	657278,0	681127,7	-3,6

На рис. 3 представлена графическая интерпретация изменения годового потребления газа по группе промышленных и сельскохозяйственных потребителей при изменении среднегодовой температуры и динамике ВРП.

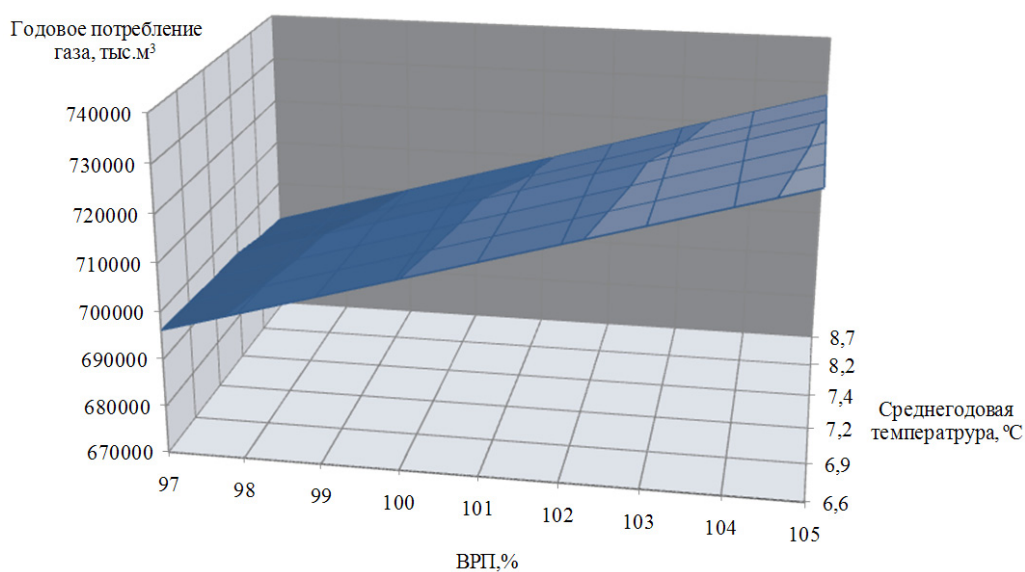
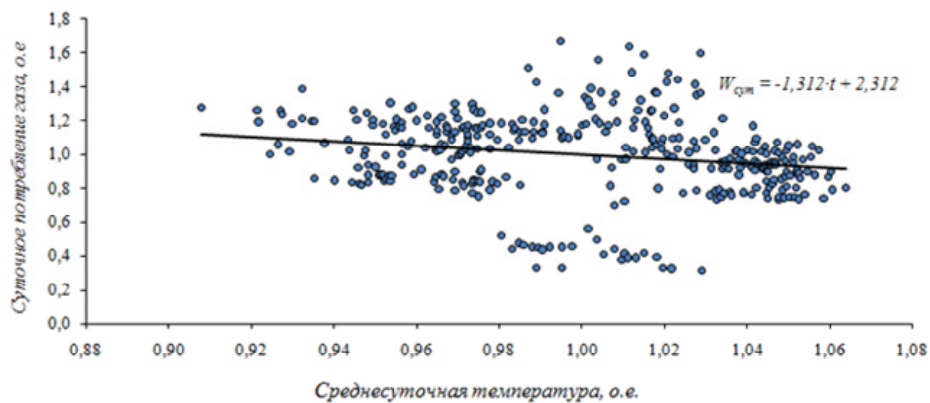
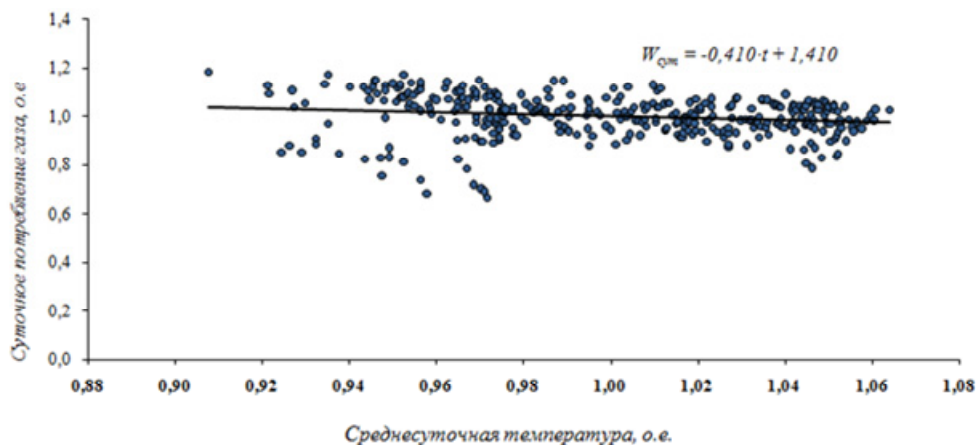


Рис. 3. Графическая интерпретация изменения годового потребления газа по группе промышленных и сельскохозяйственных потребителей при изменении среднегодовой температуры и динамике ВРП

Общий объем потребления газа для данной группы потребителей составляет 29 % от суммарного потребления газа региона. Возможность использования годовой двухфакторной модели для прогнозирования потребления газа в данном случае определяется слабым влиянием фактора «температура» на потребление в группе. Действительно, суточные поля «потребление газа – температура» на годовом интервале времени по отдельным группам промышленных потребителей показали на низкую корреляцию указанных факторов (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Поля соответствия суточного потребления газа от среднесуточной температуры на годовом интервале времени: а – для группы предприятий концерна «Белнефтехим»; б – для группы предприятий «Минстройархитектуры»

Второй подход при формировании заявки на природный газ может быть использован для отдельных крупных потребителей газа. К таким потребителям в ГомРСТС относятся, например, ОАО «Мозырьсоль», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Гомельстекло», ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Для таких потребителей улучшение качества прогнозирования объемов поставок газа достигается на основе использования классической модели зависимости удельного расхода газа от производительности технологического процесса:

$$W_{\text{уд.газ}} = w_{\text{уд.техн}} + W_{\text{усл.-пост}}/\Pi, \text{ т у. т./ед. прод.},$$

где $w_{\text{уд.техн}}$ – технологический удельный расход газа на выпуск продукции, т у. т./ед. прод.; Π – объем выпуска продукции, ед. прод.; $W_{\text{усл.-пост}}$ – условно–постоянная составляющая расхода газа технологическими установками, т у. т.

Ранее было показано [10], что неучет динамики производственной программы и прогнозирование «от достигнутого» влечет за собой как возможный перерасход от заявленного по факту значения, так и недобор газа. Для предприятия по выпуску

листового стекла рассчитано, что разброс ошибки при формировании заявки на годовые объемы поставки газа в зависимости от плановых значений выпуска продукции находится в достаточно широком диапазоне – от 44,6 до + 25,5 %. При этом необходимо учитывать и такой фактор, как «износ футеровки» печей, если газ используется в печном оборудовании (печи обжига цемента, металлургия, стекольное производство).

2. Разработка проектов развития и реконструкции систем газоснабжения и хранения газа

В трудах российских ученых [11] обращается внимание на такую проблему, как износ и устаревание технологического оборудования газотранспортных систем. Так, почти две трети магистральных газопроводов имеют срок эксплуатации более 30 лет, а порядка 40 % установленной мощности газоперекачивающих агрегатов нуждается в замене и модернизации. В еще более длительной эксплуатации находятся газораспределительные сети городов и промышленных центров. По осторожным оценкам, в настоящее время необходимо менять около 30 % физически изношенного и столько же морально устаревшего оборудования. Эта задача требует детальной проработки как самой структуры потребителей, так и возможных сценариев их дальнейшего развития при учете всех возможных альтернативных источников энергии и ценового фактора по каждому энергоресурсу.

Эта проблема актуальна и для РСГС Беларуси. К слову сказать, история газового хозяйства Гомельщины ведет свой отсчет с 1 марта 1960 г., когда на основании приказа Главного управления по газификации при Совете Министров БССР № 13 было организовано Управление по газификации при исполнительном комитете Гомельского городского Совета депутатов трудящихся. Первый газ в наш регион пришел 27 января 1961 г. по магистральному отводу с территории Украины от газопровода «Дашава – Киев – Брянск – Москва» в г. п. Костюковка на стеклозавод им. Ломоносова. На следующий день газовый факел был зажжен в г. Гомеле.

При разработке инвестиционных проектов развития региональных системы газоснабжения одним из определяющих факторов экономической эффективности проекта является *достоверная оценка прогнозного спроса на газ с использованием зависимостей «цена на газ – спрос со стороны потребителей»*. Разница между прогнозным спросом при определенной цене и фактическим потреблением газа – потенциал сбыта газа в регионе. В зависимости от значения этого потенциала можно принимать решения о размерах инвестиций в распределительные сети, сроках ввода новых объектов в соответствии с динамикой спроса.

3. Формирование тарифов на газ для различных групп потребителей при учете рентабельности их производств.

Формирование тарифов на газ для отдельных групп и отдельных потребителей очень болезненная тема. Для потребителей, которые могут перейти на альтернативные газу виды топлива, повышение тарифов на газ не будет таким болезненным, а РСГС может потерять таких потребителей. С другой стороны, потребители, не имеющие газу альтернативы (технологическое оборудование), в условиях повышения тарифов могут ослабить свое положение на рынке продукции или даже потерять его.

Например, предприятие по выпуску спирта в условиях повышения тарифов на природный газ вынуждено перевести котельную на работу с альтернативным видом топлива – мазут (котлы ДКВР), котел Vitomax 200 HS, работающий на газу, практически выведен из работы котельной.

Все обозначенные актуальные задачи должны решаться на основе изучения общих закономерностей формирования режимов потребления газа как по укрупнен-

ным группам балансовой структуры, так и по отдельным элементам (крупным потребителям) каждой РСГС.

Л и т е р а т у р а

1. Энергетический баланс Республики Беларусь, 2017. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_7863/. – Дата доступа: 05.11.2018.
2. Мелентьев, Л. А. Избранные труды. Методология системных исследований в энергетике / Л. А. Мелентьев. – М. : Наука, 1995. – 289 с.
3. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ – ИСЭМ / ред. Н. И. Воропай. – Новосибирск : Наука, 2010. – 686 с.
4. Илькевич, Н. И. Многоуровневое моделирование развития систем газоснабжения / Н. И. Илькевич, Т. В. Дзюбина, Ж. В. Калинина. – Новосибирск : Наука, 2014. – 217 с.
5. Моделирование равновесия потоков стоимости спроса и предложения на природный газ / Н. И. Илькевич [и др.] // Трубопроводные системы энергетики: методические и прикладные проблемы математического моделирования. – Новосибирск : Наука, 2015. – С. 318–331.
6. Шевченко, М. В. Разработка частных моделей организации мониторинга системы регионального газоснабжения / М. В. Шевченко // Технолог. аудит и резервы производства. – 2015. – Т. 6, № 2 (26). – С. 40–46.
7. Галустов, Г. Г. Математическое моделирование и прогнозирование в технических системах : учеб. пособие / Г. Г. Галустов, С. П. Бровченко, С. Н. Мелешкин. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 30 с.
8. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М. : Высш. шк., 1989. – 367 с.
9. Грунтович, Н. В. О необходимости изучения структуры и закономерностей функционирования региональных систем газоснабжения / Н. В. Грунтович, Д. Р. Мороз, В. Е. Шалоник // Энергет. стратегия. – 2017. – № 1. – С. 42–46.
10. Мороз, Д. Р. Разработка моделей потребления газа по структурным элементам региональной системы газоснабжения / Д. Р. Мороз, А. А. Капанский // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов / Тамбов. гос. техн. ун-т. – 2017. – С. 416–418.
11. Прогноз потребления газа – основа принятия рациональных решений по структуре и технологическим параметрам при проектировании и реконструкции системы газоснабжения / Р. А. Кантюков [и др.] // Электрон. науч. журн. «Нефтегазовое дело». – 2015. – № 1. – С. 201–221. – Режим доступа: http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p201-221_KantyukovRA_ru.pdf.

СЕКЦИЯ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА НОВЫХ ПРИНЦИПАХ

Ю. Н. Кузнецов, М. Н. Полищук

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени И. Сикорского»*

Введение. Мобильные роботы произвольной ориентации (РПО) в пространстве, известные в ряде публикаций также как роботы вертикального перемещения, а в международных изданиях – под термином Climber Robot (альпинистский робот), являются новой модификацией мобильных роботов, оснащенных средствами удержания робота на поверхности произвольной ориентации относительно горизонта технологического пространства. Создание данного вида робототехники находится на начальной стадии и продиктовано условиями четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» [1]. Экспериментальные образцы мобильных роботов [2]–[4] в совокупности с методическими рекомендациями могут быть основой для их дальнейшего развития.

Цель исследования. Проблема создания роботов указанного типа состоит в отсутствии методологии исследования, направленного на синтез подсистем удержания роботов на поверхности перемещения с преодолением гравитационной нагрузки для гарантированного удержания робота на произвольно ориентированной поверхности перемещения при выполнении технологических операций. Поэтому целью настоящих исследований является разработка принципов синтеза мобильных роботов и реализация их современными средствами компьютерного моделирования для перехода к проектно-конструкторским разработкам.

Методика проведения исследований. Предложены новые перспективные направления совершенствования роботов произвольной ориентации (РПО). Эти направления могут быть реализованы посредством трех основополагающих принципов синтеза: 1) накопления потенциальной энергии на каждом предыдущем участке перемещения и преобразования ее в кинетическую энергию движения на следующем участке движения; 2) интеграции приводов продольного, вертикального перемещения, а также приводов изменения ориентации робота согласно заданному маршруту; 3) применения генераторов тяги (аэродинамической подъемной силы) как средства противодействия гравитационной силе с целью увеличения технологической нагрузки при одновременном уменьшении мощности приводов движения и сцепления робота с поверхностью перемещения.

Для построения статических и динамических моделей РПО при компьютерном моделировании в целях их структурно-параметрического синтеза применены методы кинестатики на принципах Германа–Ейлера–Д’Аламбера, уравнения Лагранжа II рода в обобщенных координатах, метод координатной оптимизации, а также методы оптимизации параметров многоуровневых иерархических систем. В качестве ин-

32 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

струментального обеспечения построения указанных моделей применены программные средства математического моделирования Matlab R2014 и Mathcad 15, а синтез конструкций функциональных узлов роботов осуществлен в графических средах проектирования Компас 3D и AutoCAD.

Результаты исследований. На рис. 1 показаны результаты моделирования мобильного робота [5], реализующего первый из указанных выше принципов. Из представленных графиков зависимостей выполняемой работы A (Nm) от углов поворота β° педипуляторов робота очевидно доминирующее влияние жесткости j упругих элементов, осуществляющих накопление потенциальной энергии и преобразование ее в кинетическую энергию движения робота.

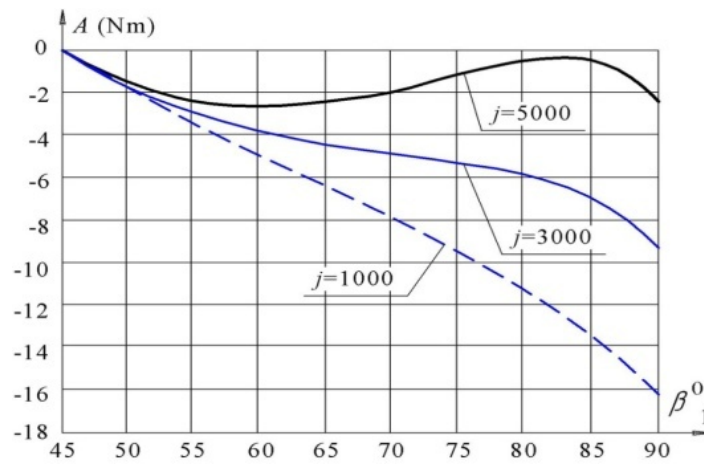


Рис. 1. Зависимости выполняемой работы A (Nm) от углов поворота β° педипуляторов робота

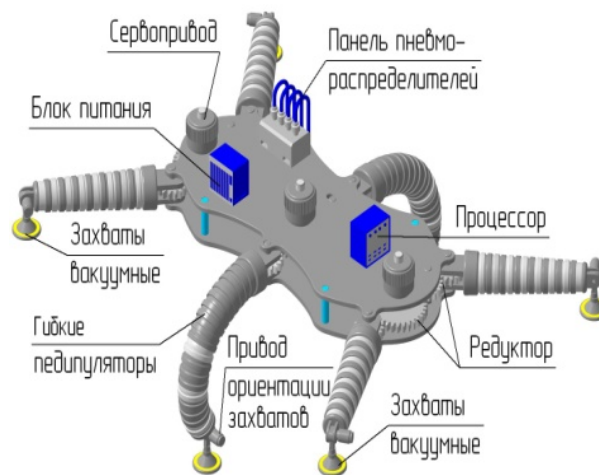


Рис. 2. Модель робота с гибкими педипуляторами

Второй принцип, как отмечено выше, предполагает интеграцию приводов перемещения [6] с целью их уменьшения, а значит и массы робота. Известно, что в Декартовом пространстве имеется шесть степеней свободы – три поступательных и три

поворотных, каждой из которых согласно классическим решениям соответствует автономный привод. Гибкие педипуляторы робота (рис. 2) обладают способностью работать в различных системах координат: Декартовой, сферической и цилиндрической без дополнительных приводов по каждой координатной оси. Полученные функциональные зависимости позволяют программировать ориентации движения робота и рассчитывать конструктивные параметры педипуляторов РПО.

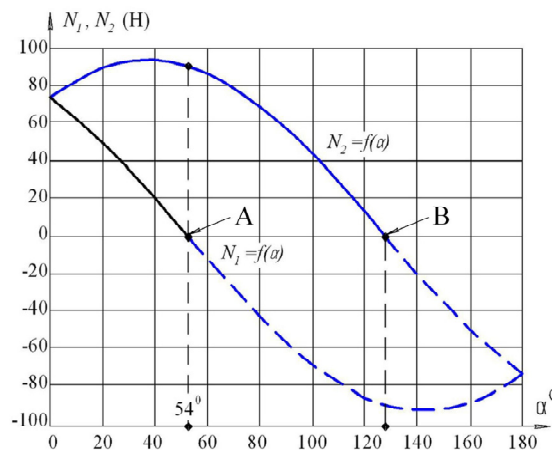


Рис. 3. Графики изменения опорных реакций N_1 и N_2 ног робота в зависимости от угла α наклона робота к горизонту

И наконец, третий принцип – применение генераторов тяги как средства противодействия гравитационной силе, реализует робот [7]. Как показывают результаты моделирования на графиках рис. 3, точки «А» и «В» определяют критический угол α наклона робота к горизонту, когда ноги робота начинают проскальзывать и необходимо включать генератор тяги для преодоления силы гравитации.

Литература

1. Кузнецов, Ю. Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины / Ю. Н. Кузнецов // Вестн. ХНТУ. – 2017. – № 2 (61). – С. 67–75.
2. Черноусько, Ф. Л. Мобильные роботы: исследования, разработки, перспективы / Ф. Л. Черноусько, Н. Н. Болотник, В. Г. Градецкий. – 2018. – Режим доступа: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=f5c75bcf-2fa5-40e6-b067-4492f0c5ab22&print=1>.
3. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / В. Г. Градецкий [и др.]. – М. : Наука, 2001. – 360 с.
4. International Journal of Engineering Research and General Science. Vol. 2, ISSN 2091-2730. Developments in wall climbing robots : a review. – 2014. – P. 36–37.
5. Polishchuk, M. N. Mobile climbing robot with elastic energy accumulators / M. N. Polishchuk, V. V. Oliinyk. – К. : Mechanics and Advanced Technologies. – 2018. – № 1 (82). – P. 116–122.
6. Polishchuk Mikhail. Walking Mobile Robot of Arbitrary Orientation / Mikhail Polishchuk, Mark Opashnianskyi, Nikita Suyazov // International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM). – 2018. – Vol. 8, № 3. – P. 1–11.
7. Заявка № а201805661 на выдачу патенту UA МПК В62D 57/024. Антигравітаційний мобільний робот Поліщука / М. М. Поліщук // заявл. 22.05.2018. – К. : Укрпатент, 2018. – 16 с.

УДК 004.356

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 3D-ПРИНТЕРА НА БАЗЕ ТРИГЛАЙДА

А. В. Солнцев, Ю. Н. Кузнецов

*Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени И. Сикорского»*

Сегодня основной чертой современности стала нагрянувшая четвертая промышленная революция «Industry 4.0» с ориентацией на искусственный интеллект и полную автоматизацию с применением роботов робототехнических систем, средств информатизации и коммуникации, а также всего, что касается общества, бизнеса, производственных технологий и образования [4].

В условиях «Industry 4.0» будущее принадлежит аддитивным (добавочным) технологиям [2], которые согласно стандарту ASTM F2792.1549323-16 представляют процесс объединения материалов с целью создания объектов с данных 3D-модели, как правило, слой за слоем, в отличие от субтрактивных (отнимающих) производственных технологий (математическую модель с монитора компьютера можно легко и быстро «материализовать» непосредственно без изготовления рабочих чертежей, технологических карт и специального оснащения).

Известны следующие виды аддитивных технологий [3]:

Stereolithography (SLA) – выращивание модели из смолы, которая фотополимеризуется под действием ультрафиолетового лазерного излучения.

Selective Laser Sintering (SLS) – спекание послойно лазерным лучом покрытого связующим пластиком порошка из стали, крахмала или керамики.

ColorJet Printing (CJP) – трехмерная цветная печать концептуальных, архитектурных и демонстрационных моделей (прозрачных или с покрытием).

MultiJet Printing (MJP) – использование двух материалов (строительно-модельного и скрепляющего для предотвращения обвала нависающих частей, которые после построения модели смывают горячей водой) и модельного материала, например, фотополимерную смолу подают в зону строения через многосопловую головку.

PlasticJet Printing (PJP) – подвод к экструдеру полимерной нитки, ее расплавление, осаждение, формирование физической модели в соответствии с конфигурацией пересечения виртуальной CAD-модели.

Для прямой печати металла используют **Direct Metal Printing (DMP)**, а кроме **SLS** применяют **SLM** и **EBM**.

Неотъемлемой составляющей проектирования и оптимизации любой робототехнической системы является динамический анализ.

На первом этапе динамического анализа 3D-принтера на основе триглайда (рис. 1) была использована САПР, в которой он проектировался – Autodesk Inventor (AI) и ее модуль «Динамическое моделирование», с помощью которого установлено, каким образом детали реагируют (со структурной точки зрения) на динамические нагрузки в любой точке диапазона движений сборки [1].

УДК 621

О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ПАР АКСИАЛЬНЫХ РОТОРНО-ПОРШНЕВЫХ ГИДРОМАШИН

Г. С. Кульгейко, М. П. Кульгейко

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

Одним из путей повышения эксплуатационных характеристик поршневых машин является установление оптимальных зазоров в парах трения, в частности, между поршнями и отверстиями в блоке цилиндров. Величина конструктивного зазора между поршнем и корпусом выбирается из двух взаимно противоречивых требований: обеспечение минимальной величины силы трения, малых утечек и высокого КПД. Величина утечки жидкости через зазоры зависит от температуры жидкости, обратно пропорциональна ее вязкости и прямо пропорциональна величине перепада давления.

Целью работы является определение функциональной точности геометрических параметров на примере поршневой пары аксиально-поршневых гидромашин.

Повышение качества гидромашин может быть обеспечено не только совершенствованием их конструкций, применением новых технологических процессов и материалов, но также путем использования принципов функциональной взаимозаменяемости. В современных технологиях размерной обработки осуществляется переход от размерной стандартизации к функциональному нормированию по выполнению изделием определенных функций в зависимости от точности функциональных параметров [1].

В функциональный допуск T_ϕ входят эксплуатационный T_ε и конструкторский T_k допуски. Эксплуатационный допуск характеризует запас точности, обеспечивающий сохранение требуемых функциональных свойств изделия в процессе эксплуатации. Конструкторский допуск учитывает погрешности изготовления деталей, соединения и изделия в целом.

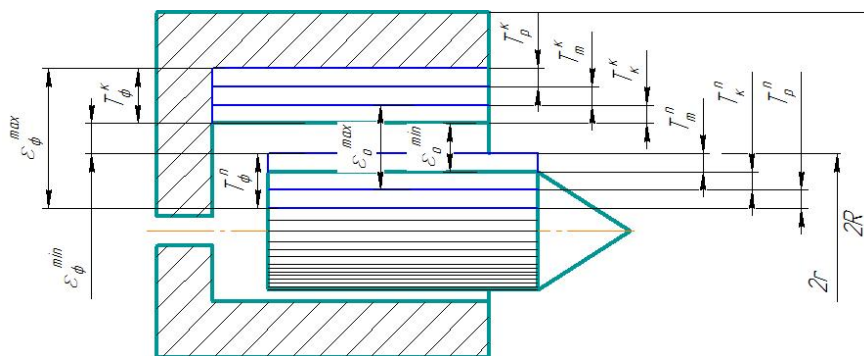


Рис. 1. Схема расположения допусков поршневой пары аксиально-поршневой гидромашины

На рисунке представлена схема расположения допусков поршневой пары аксиально-поршневой гидромашины. Функциональный допуск каждого элемента пары равен сумме конструкторского T_k и эксплуатационного T_ε допусков

$$T_\phi = T_k + T_\varepsilon = T_k + T_t + T_p, \quad (1)$$

36 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

где T_t – допуск температурной деформации элемента; T_p – допуск на деформацию элемента в результате перепада давления.

Соответственно, радиальный зазор в поршневой паре аксиально-поршневой гидромашины с учетом изменения давления и температуры можно определить по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon_t + \Delta\varepsilon_p, \quad (2)$$

где ε_0 – конструктивный зазор исходя из конструкторской точности сопряжения; $\Delta\varepsilon_t$ и $\Delta\varepsilon_p$ – изменение зазора в зависимости от температуры и давления рабочей жидкости, соответственно.

Или в развернутой форме с учетом известных соотношений

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + 2r\Delta\alpha\Delta t + \frac{pr}{E_k} \left(\mu_k + \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \right) + \frac{pr}{E_n} (1 - \mu_n), \quad (3)$$

где $\Delta\alpha = \alpha_k - \alpha_n$ – разность коэффициентов линейного расширения материалов сопряженных деталей корпуса (α_k) и поршня (α_n); $\Delta t = t - t_0$ – разность между температурой материала сопряженных деталей и исходной (начальной) температурой; p – давление рабочей жидкости; r и R – соответственно, наружные радиусы поршня и корпуса (гильзы) гидромашины; E_k , E_n , μ_k , μ_n – модули упругости и коэффициенты Пуассона материала корпуса (гильзы) и поршня, соответственно.

На основе канонической формулы [2], учитывая, что полная ширина зазора равна πd , получим выражение для определения утечки жидкости через зазор между поршнем и цилиндром:

$$Q = \frac{\pi \Delta p \varepsilon^3 d}{12 \mu l}. \quad (4)$$

В соответствии с теоретическими положениями [3], определив частные производные от выражения (4) по функциональным геометрическим параметрам, получим зависимость

$$\delta Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial d} \right)^2 \delta^2 d + \left(\frac{\partial Q}{\partial \varepsilon} \right)^2 \delta^2 \varepsilon + \left(\frac{\partial Q}{\partial l} \right)^2 \delta^2 l}. \quad (5)$$

Отсюда, используя выражения для частных производных, фиксируя последовательно допуски частных значений параметров на нулевом уровне, получим зависимости для определения допусков на основные функциональные параметры поршневой пары:

$$\delta d = \frac{12 \mu l \delta Q}{\pi \Delta p \varepsilon^3}, \quad \delta \varepsilon = \frac{4 \mu l \delta Q}{\pi \Delta p \varepsilon^2 d}, \quad \delta l = -\frac{12 \mu l^2 \delta Q}{\pi \Delta p \varepsilon^3 d}. \quad (6)$$

Таким образом, применение принципов функционального нормирования точности при проектировании и изготовлении основных элементов поршневой пары позволит обоснованно подойти к назначению допусков на основные геометрические

параметры, оценить правильность назначения допусков, выявить технологические возможности взаимозаменяемости и повышения стабильности работы соединения.

Л и т е р а т у р а

1. Высокие технологии размерной обработки в машиностроении / А. Д. Никифоров [и др.]. – М. : Высш. шк., 2007. – 327 с.
2. Шейпак, А. А. Гидравлика и гидропневмопривод. Ч. 1. Основы механики, жидкости и газа / А. А. Шейпак. – М. : МГИУ, 2005. – 192 с.
3. Жуков, В. К. Теория погрешностей технических измерений / В. К. Жуков. – Томск : ТПУ, 2009. – 180 с.

УДК 621.922.3

**АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
АБРАЗИВНО-ОТРЕЗНЫХ СТАНКОВ
С КАЧАЮЩЕЙСЯ ШПИНДЕЛЬНОЙ БАБКОЙ**

Н. А. Старовойтов, С. В. Рогов

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

Введение. В настоящее время в заготовительных цехах машиностроительных предприятий широко используются различные виды оборудования для разрезания круглого проката из конструкционных сталей.

Однако имеется недостаточно полная информация, насколько эффективно применение абразивно-отрезных станков по сравнению с другими видами механического разрезания заготовок.

Целью работы является определение путей повышения эффективности абразивно-отрезных станков с качающейся шпиндельной бабкой.

Цель анализа. Существует мнение, что процесс разрезания заготовок на абразивно-отрезных станках является дорогостоящим в связи с высокой стоимостью абразивно-отрезных кругов и быстрым их износом, что приводит к большим потерям времени на их замену. Также процесс резания считается не совсем экологически чистым.

Однако отказаться от этого процесса резания полностью в настоящее время невозможно. Он пока незаменим в процессах, где требуется высокая производительность, при разрезании закаленных сталей, при разрезании прутков проката в горячем состоянии в металлургической промышленности на прокатных станах.

Анализ процесса. В работе [1] определена эффективность применения абразивно-отрезных станков по сравнению с другими видами отрезного оборудования для резки круглого проката: ножовочными, ленточно-отрезными, круглопильными станками. В основу расчета эффективности положен фактор стоимости одного реза различных сечений разрезаемого материала в серийном и мелкосерийном производстве.

Расчет эксплуатационных издержек производился по методике [2] с учетом прямых и сопутствующих затрат и расходов на содержание и эксплуатацию металлорежущих станков.

Расчеты режимов резания и штучного времени производились для стали 35 ($\sigma_b = 54 \cdot 10^7 \text{ н/м}^2$) по таблицам режимов, изложенных в работе [3].

Средняя стоимость одного реза заготовок диаметром 0,02–0,06 м абразивным кругом диаметром 0,4 м в среднем составляет 0,18 р. и уступает по стоимости одного реза только ленточно-отрезным станкам с применением биметаллической ленты, где стоимость одного реза равна 0,10 р. (рис. 1).

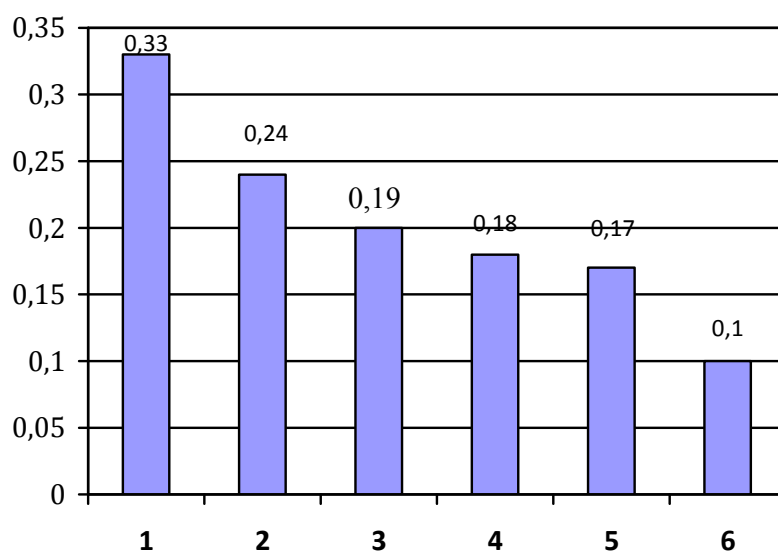


Рис. 1. Средняя стоимость одного реза в рублях при разрезании заготовок диаметром 0,02–0,06 м на станках: 1 – ножовочных; 2 – круглопильных с твердосплавным диском; 3 – ленточно-отрезных; 4 – круглопильных с диском из быстрорежущей стали; 5 – абразивно-отрезных с кругом диаметром 0,4 м; 6 – ленточно-отрезных с биметаллической лентой

Несмотря на высокую эффективность и относительно низкую стоимость одного реза, на абразивно-отрезных станках-автоматах с кругом диаметром 0,4 м, затраты на режущий инструмент в среднем достигают 71 % от стоимости одного реза, в то время как при разрезании заготовок на ленточно-отрезных станках эти затраты не превышают 5 % (рис. 2).

В связи с изложенным выше дальнейшее повышение эффективности абразивно-отрезных станков актуально и может решаться за счет повышения стойкости абразивно-отрезных кругов.

Одним из путей повышения стойкости абразивно-отрезных кругов является поддержание постоянной скорости резания при износе круга, что приводит к уменьшению его износа на 20–30 % [4].

Проведенные исследования эффективности поддержания постоянной скорости резания с применением частотного тиристорного регулируемого главного привода типа ЭКТ-63/380-У4 мощностью 30 кВт на абразивно-отрезном станке модели 8В242 при разрезании полосы сечением $b \times h = 0,032 \times 0,06$ м из стали 35 кругом 41-0,4 \times 0,004 \times 0,032 м. 14А 40-Н 41-43ВФ ГОСТ 21963–2002 со скоростью резания 80 м/с без охлаждения показали, что стойкость круга повышается в среднем на 15–20 %, что значительно ниже величины, указанной в работе [4].

Проведенные исследования износа абразивно-отрезных кругов и виброскорости их колебаний при различных режимах резания [5] показывают, что скорость износа круга существенно зависит от виброскорости колебаний.

Это связано с низкой виброустойчивостью гидромеханической системы станка мод. 8В242, что отрицательно сказывается на стойкости отрезных кругов [6].

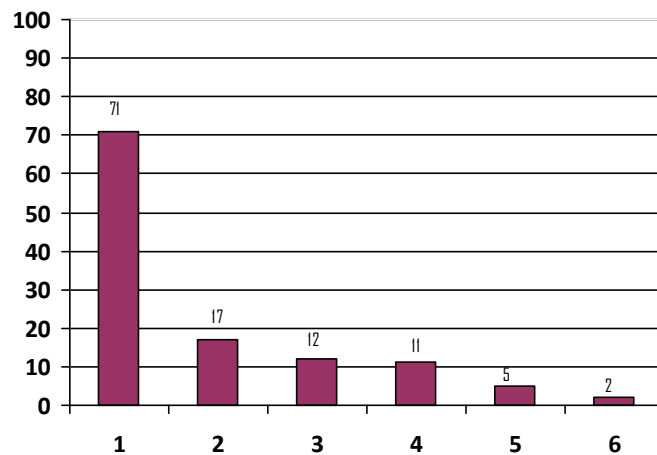


Рис. 2. Удельный вес затрат в процентах на режущий инструмент в стоимости одного реза при разрезании заготовок диаметром 0,02–0,06 м на станках:
 1 – абразивно-отрезных с кругом диаметром 0,4 м; 2 – круглопильных с диском из быстрорежущей стали; 3 – ленточно-отрезных с биметаллической лентой; 4 – круглопильных с твердосплавным диском; 5 – ленточно-отрезных; 6 – ножовочных

При наличии колебаний круга мгновенное значение подачи меняется в широких пределах в связи со сложением и вычитанием виброскорости кромки отрезного круга с величиной его заданной подачи, что приводит к ударным нагрузкам на зерно и преждевременное его вырывание из связки.

Предварительные исследования абразивно-отрезных станков с качающейся шпиндельной бабкой мод. 8В242 на холостом ходу показывают, что основным источником вынужденных колебаний шпинделя является дисбаланс круга и шкива, а также ротора электродвигателя со шкивом.

Заключение. Таким образом, на основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Уменьшение приведенных затрат на инструмент, которые могут достигать до 71 % от приведенных затрат на один раз, является основным критерием дальнейшего повышения эффективности абразивной резки.

2. Поддержание постоянной скорости резания при износе круга является одним из основных направлений повышения стойкости абразивно-отрезных кругов.

3. Основным сдерживающим фактором при создании высокоскоростных абразивно-отрезных станков с качающейся шпиндельной бабкой и регулируемым главным приводом для поддержания постоянной скорости резания при износе абразивно-отрезного круга, является недостаточная виброустойчивость существующих станков, что неблагоприятно сказывается на стойкости абразивно-отрезных кругов.

Литература

1. Старовойтов Н. А. Рациональное применение отрезных станков / Н. А. Старовойтов, Е. С. Курневич // Станки и инструмент. – 1983. – № 3. – С. 7–8.
2. Старовойтов, Н. А. Эффективность разрезания заготовок абразивным кругом / Н. А. Старовойтов // Станки и инструмент. – 1984. – № 3. – С. 33–34.
3. Веселовский, С. Н. Разрезка материалов / С. Н. Веселовский. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.
4. Геллетсбергер, Х. Горячее отрезание горячим кругом на сталепрокатных заводах / Х. Геллетсбергер // Современная техника Австрии : междунар. симп. и выставка. – М. : Красная Пресня, 1981. – С. 8.

5. Старовойтов, Н. А. Исследования износа абразивно-отрезных кругов и виброскорости их колебаний при различных режимах резания / Н. А. Старовойтов, Е. Н. Демиденко, С. И. Красюк // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – № 1. – С. 61–67.
6. Филимонов, Л. Н. Стойкость шлифовальных кругов / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1973. – 136 с.

УДК 621.941

**СИНТЕЗ КОМПОНОВОК ЗАЖИМНЫХ ПАТРОНОВ
ЭВРИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

И. Р. Ящук, С. Б. Паньков, А. В. Литвин

*Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Современные условия развития и внедрения новейших технологий в промышленности представляют очередной вызов машиностроительной отрасли, развитие которой стимулирует за собой и другие производства. Поэтому перед машиностроительными предприятиями, научно-исследовательскими учреждениями и другими проектными фирмами ставятся новые задачи по созданию и совершенствованию промышленных узлов предприятий, что в свою очередь порождает новые вызовы по оптимизации и созданию новых методов поиска технических решений (ТР).

Так, в сфере станкостроения на первый план выдвигаются задачи разработки новых и модернизации существующих средств станочного оснащения. Практика показывает, что в целом ряде случаев поиск принципиально новых технических идей наталкивается на ряд трудностей, причиной которых является не отсутствие или низкий уровень квалификации, а незнание методологии поиска новых ТР, т. е. креативного подхода. Одним из путей решения задачи создания новых конструкций зажимных патронов (ЗП) токарных станков является воплощение прогрессивных методов поиска новых ТР на ранних стадиях технологической подготовки производства.

Успешный результат креативного подхода заключается в выявлении и устранении неопределенности при решении сложной проблемы на основе поиска наилучшего решения из существующих альтернатив. Решением проблемы (результатом) является техническое решение, которое сохраняет или улучшает характеристики системы или создает новую систему с заданными качествами. Общий подход решения проблем можно представить в виде цикла (рис. 1).

При этом в процессе функционирования реальной системы технического объекта (ТО) оказывается проблема практики, как несоответствие существующего положения дел необходимому. Для решения проблемы проводится системное исследование (декомпозиция, анализ и синтез) системы, что снимает проблему.

В ходе синтеза осуществляется оценка анализируемой и синтезированной систем [1].

Реализация синтезированной системы в виде предложенного технического решения позволяет провести оценку степени снятия проблемы практики и принять решение по функционированию модернизированной (новой) реальной системы.

Для синтеза оптимальных структур ЗП наиболее адаптированы и применимы морфологические методы исследования. Применение методов морфологического анализа и синтеза в большинстве случаев осуществляется на начальных этапах проектирования для конструирования новых эффективных конструкторских и технологических решений. Процедуры, основанные на морфологическом исследовании, по-

звolyают целенаправленно, планомерно закладывать в морфологические таблицы большое множество всевозможных вариантов реализации систем (включая неизвестные), из которых синтезируется большое количество вариантов реализации (ТР-аналогов).

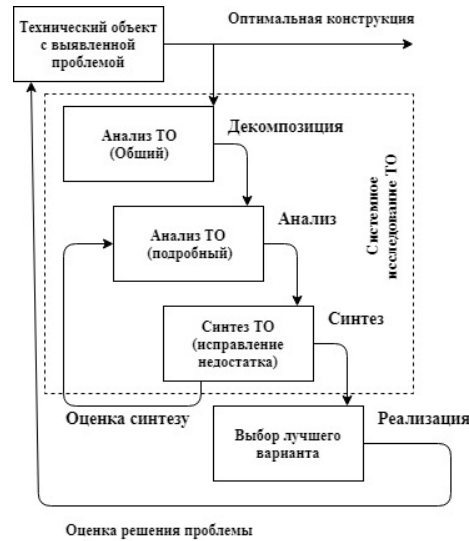


Рис. 1. Общий подход к решению проблемы ТО

Как показывает практика, при создании новых ТР использования только эвристических методов является не всегда целесообразным. Поскольку человек не может решать, моделировать задачи высокой сложности без использования машинной поддержки. Так, основным недостатком данного подхода при проектировании ЗП является большое количество вариантов реализации, различающихся количеством элементов, типами элементов, способами их взаимосвязи. Для реализации такого выбора необходимо решить задачу очень большой размерности.

В большинстве случаев структурного синтеза математическая модель представляется в виде алгоритма, позволяющего по заданному множеству X и заданной структуре ЗП рассчитать вектор критериев K . Если же математическая модель $X \rightarrow K$ остается неизвестной, то пытаются использовать подход на базе систем искусственного интеллекта (экспертных систем). Так, для решения задачи уменьшения выборки реализаций и выбора лучшего варианта нами предлагается креативный подход на основе комбинированного метода, который основан на морфологическом подходе с использованием системного анализа и нейронных сетей.

Первый этап предусматривает получение описания всех систем, принадлежащих к исследуемому классу, т. е. классификацию множества исследуемых систем. Результатом этого этапа является построение морфологической таблицы, включая классификационные признаки и набор значений признаков, которые попадают под эту классификацию.

На втором этапе проводится оценка описаний различных систем исследуемого класса и выбор из них тех, которые в том или ином приближении соответствуют условию задачи (целевой функции). Этот этап решения называется морфологическим синтезом, так как в результате получается целостное описание всей исследуемой системы из частей описаний подсистем и соотношения между ними [2].

Начиная с третьего этапа происходит целесообразное сокращение выборки методами системного анализа, а именно: проводится кластеризация вариантов с использованием введенной меры сходства, где проектировщик может выбрать необходимую степень распределения исходного множества на кластеры. Сопоставляя варианты, определяют наиболее подходящие варианты для реализации целевой функции, причем вводится степень новизны и оценка найденных альтернатив.

На заключительном этапе с помощью нейронных сетей избираются наиболее целесообразные варианты реализации для решения поставленной задачи. Нейронные сети используются для структурного и параметрического синтеза ЗП в двух случаях: для проектирования ЗП (поиска нового технического решения) и для моделирования параметров структурных элементов ЗП.

Нейронные сети представляют собой достаточно новую и перспективную вычислительную технологию, которая открывает новые возможности и подходы синтеза и проектирования новых технологических решений зажимных патронов.

Предлагается исследовать использование нейронных сетей в сочетании с эвристическими методами синтеза, в роли оптимизатора и для упрощения поиска новых технических решений. Данный подход позволит не только повысить технический уровень разработанных ТР, но и сократить время их проектирования.

Литература

1. Андрейчиков, А. В. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике : Математические, эвристические и интеллектуальные методы системного анализа и синтеза инноваций : учеб. пособие для вузов / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М. : Либроком, 2013.
2. Кузнецов, Ю. М. Практикум з дисципліни «Основи технічної творчості» : навч.-метод. посіб. / Ю. М. Кузнецов, О. В. Литвин ; під заг. ред.: Ю. М. Кузнецов. – К. : ТОВ «ЗМОК» – ТОВ «ГНОЗІС», 2010.

УДК 62–82:681.523.13

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОПУСКОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ ТИПА СОПЛО-ЗАСЛОНКА

Г. С. Кульгейко, Э. Г. Тончинский

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

Размеры управляющего и распределительного элементов гидравлического усилителя оказывают существенное влияние на выходные параметры и для стабильности работы гидроусилителя необходимо допуски на основные элементы установить, исходя из допустимых колебаний выходных параметров.

Установлено, что если между выходными параметрами какого-либо сборочного узла y и его размерами или другими характеристиками x_1, x_2, \dots, x_n имеется аналитическая зависимость вида $y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и она дифференцируется до n -го порядка для всех значений x_1, x_2, \dots, x_n в промежутках $z_1 \pm \delta_1, z_2 \pm \delta_2, \dots, z_n \pm \delta_n$, где z_1, z_2, \dots, z_n – частные значения аргументов, соответствующие рассматриваемым характеристикам, то допуск на величину y определится из выражения (метод функциональной взаимозаменяемости):

$$\delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_1}\right)_{x_1=\bar{x}_1}^2 \cdot \delta_1^2 k_1^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_2}\right)_{x_2=\bar{x}_2}^2 \cdot \delta_2^2 k_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_n}\right)_{x_n=\bar{x}_n}^2 \cdot \delta_n^2 k_n^2}, \quad (1)$$

где $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ – соответствующие допуски на величины x_1, x_2, \dots, x_n ; k_1, k_2, \dots, k_n – коэффициенты рассеяния, значения которых определяются законами распределения величин x_1, x_2, \dots, x_n .

Как видно из схемы работы гидроусилителя типа сопло-заслонка (рис. 1), отклонение распределительного золотника от нейтрального положения есть функция перепада давления на торцах золотника $\Delta P_{Т.З}$. Величина $\Delta P_{Т.З}$ зависит от правильного подбора обоих сопл.

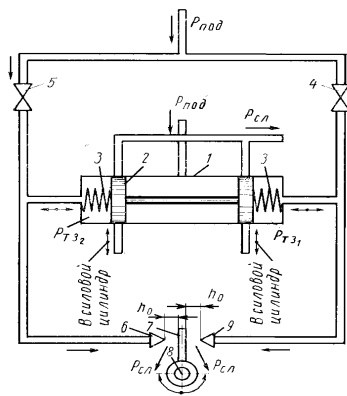


Рис. 1. Схема двухкаскадного гидравлического усилителя

Расход рабочей жидкости через сопло определяется по формуле

$$Q_c = \mu_c d_c h_0 \pi \sqrt{\frac{2\Delta P_c}{\rho}}, \quad \text{см/с}, \quad (2)$$

где μ_c – коэффициент расхода; d_c – диаметр сопла; h_0 – первоначальный зазор между соплом и заслонкой; ΔP_c – перепад давления; ρ – плотность рабочей жидкости.

Определены частные производные от допустимой разницы расхода рабочей жидкости по функциональным параметрам с использованием формулы (2), считая, что $k_1 = k_2 = \dots = k_n = 1$, по формуле (1) запишем

$$\delta Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial d_c}\right)_1^2 \cdot \delta^2 d_c + \left(\frac{\partial Q}{\partial h_0}\right)_1^2 \cdot \delta^2 h_0 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta P_c}\right)_1^2 \cdot \delta^2 \Delta P_c}.$$

При $\delta h_0 = \Delta P_c = 0$, $\delta d_c = \delta \Delta P_c = 0$, $\delta d_c = \delta h_0 = 0$ с использованием равенства

$$\delta d_c = \frac{\delta Q_c}{\mu_c h_0 \pi \sqrt{\frac{2\Delta P_c}{\rho}}}, \quad \delta h_0 = \frac{\delta Q_c}{\mu_c d_c \pi \sqrt{\frac{2\Delta P_c}{\rho}}}, \quad \delta \Delta P_c = \frac{\delta Q_c \sqrt{2\rho \Delta P_c}}{\mu_c d_c h_0 \pi},$$

$$\Delta P_C = P_{Т.З} - P_{к.с} - P_{сл},$$

где $P_{к.с}$ – потери в канализации, кг/см²; $P_{сл}$ – противодействие на сливе, кг/см².

Рис. 2. Окно программы

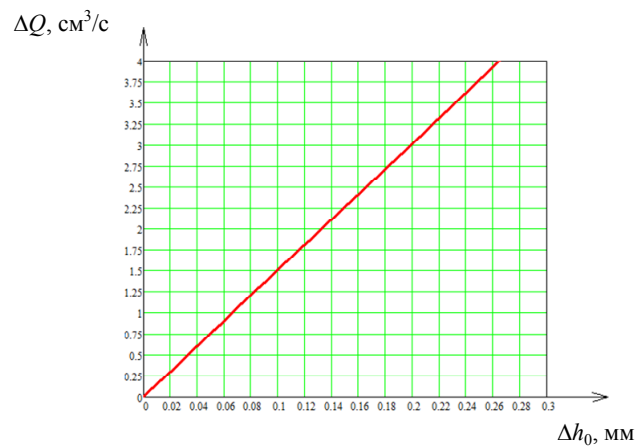


Рис. 3. Зависимость точности расхода от допуска на номинальный зазор между соплом и заслонкой

Для удобства и увеличения скорости расчета была разработана программа в среде разработки Delphi на языке программирования «ObjectPascal».

Исходя из полученных выше зависимостей имеем следующие входные параметры: δQ_c , h_0 , d_c , ΔP_c , μ , ρ .

Исходя из указанных выше входных параметров и конечной методики расчета был разработан соответствующий алгоритм программы. Программа состоит из окна (рис. 2), в левой части которого расположены поля для ввода исходных данных, а в правой рассчитанные значения допусков, построен график зависимости $\Delta Q = f(\Delta h)$.

Литература

1. Гидравлические следящие приводы (гидроусилители). – Режим доступа: <http://gidravl.narod.ru/gidrosled.html>. – Дата доступа: 02.08.2015.
2. Ильин, М. Г. Технология изготовления прецизионных деталей гидропривода / М. Г. Ильин, Я. А. Бекиров. – М. : Машиностроение, 1971. – 160 с.
3. Шагинян, А. С. Электрогидравлические усилители : монография / А. С. Шагинян, В. В. Болотский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – 105 с.

УДК 621.81

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО УПЛОТНЕНИЯ

А. Джораев, М. Аннаев, К. Гелдиев

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

В технологических агрегатах возникает необходимость уплотнения между подвижными и неподвижными частями: корпусом и валом, который может совершать вращательное или другие движения. Для этого используются уплотняющие устройства [1], [3]. В уплотнениях лабиринтного типа рабочая среда герметизируется за счет дросселирования ее при движении через последовательно расположенные сужения [2], [4]. Как и щелевые уплотнения, они не обеспечивают полной герметичности.

Магнитожидкостное уплотнение (МЖУ) – это механическое уплотнение, в котором роль уплотняющего элемента выполняет магнитная жидкость. МЖУ, изначально разработанные под космические проекты, позже нашли свое применение в радиоэлектронной и авиационной промышленности. Магнитожидкостные уплотнения используют в технологическом оборудовании для передачи вращательного движения при одновременной герметизации путем физического барьера в форме магнитной жидкости. Магнитная жидкость удерживается на месте с помощью постоянного магнита. Это уплотнение обладает значительными преимуществами перед контактными и бесконтактными уплотнениями: они работают без обслуживания и при очень небольшом натекании. МЖУ для промышленности чаще всего устанавливают во вводы вращения, которые состоят из центрального вала, шарикоподшипников и наружного корпуса. Шарикоподшипники выполняют две важные функции: центрируют вал в зазоре уплотнения и держат внешние нагрузки. Подшипники – это единственные изнашиваемые механические детали ввода вращения. Так как уплотняющая среда – это жидкость, поэтому практически отсутствует трение между вращающимися и стационарными деталями, так что уплотнение не изнашивается. Срок службы и межремонтные циклы МЖУ очень длительны, а момент трения очень низок. Наиболее типичным является уплотнение вводов вращения вакуумного технологического оборудования.

Надежность и высокий уровень герметичности МЖУ делает их все более популярными для процессов с высокими требованиями к стерильности. В МЖУ используется ферромагнитная жидкость. Ферромагнитная жидкость – это жидкость, сильно поляризуемая в присутствии магнитного поля. Ферромагнитные жидкости представляют собой коллоидные системы, состоящие из ферромагнитных, также и ферримагнитных частиц нанометровых размеров (размер 10 нм или меньше) магнетита, гематита или другого материала, содержащего железо, взвешенных в несущей жидкости. Они достаточно малы, чтобы тепловое движение распределило их равномерно по несущей жидкости, чтобы они давали вклад в реакцию жидкости в целом на магнитное поле. Для обеспечения устойчивости такой жидкости ферромагнитные частицы связываются с поверхностно-активным веществом (ПАВ), образующим защитную оболочку вокруг частиц и препятствующем их слипанию из-за Ван-дер-Ваальсовых или магнитных сил.

Термин «магнитоологическая жидкость» относится к ферромагнитным жидкостям с микрометровыми размерами частиц (на 1–3 порядка больше). Частицы магнитоологической жидкости слишком тяжелы, чтобы броуновское движение поддерживало их во взвешенном состоянии, и поэтому со временем оседают из-за

46 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

естественной разности в плотности частиц и несущей жидкости. Как следствие, у этих двух типов жидкостей разные области применения.

Магнитореологические жидкости используются для создания жидких уплотнительных устройств вокруг вращающихся осей. Вращающаяся ось окружена магнитом, в зазор между магнитом и осью помещено небольшое количество магнитореологической жидкости, которая удерживается притяжением магнита. Магнитореологическая жидкость способна снижать трение. Нанесенная на поверхность достаточно сильного магнита, она позволяет магниту скользить по гладкой поверхности с минимальным сопротивлением.

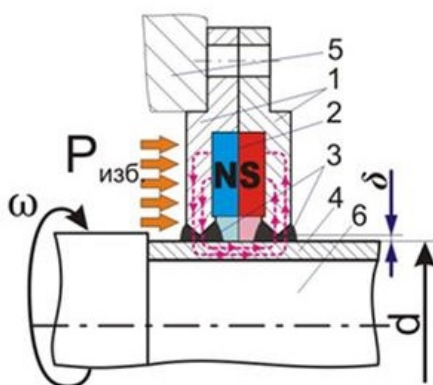


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – корпус МЖУ; 2 – постоянные магниты; 3 – магнитореологическая жидкость; 4 – защитная втулка; 5 – корпус оборудования; 6 – вал оборудования

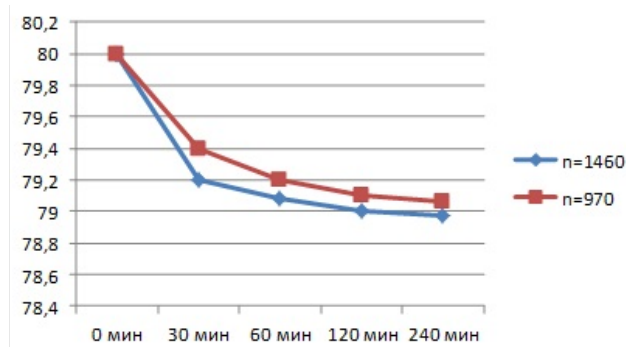


Рис. 2. Зависимость удержания перепада давления (вакуума) $P_{изб}$, кПа, от времени T , мин, при МЖУ с магнитореологической жидкостью, состоящую из ферромагнитного материала: феррита марки 400НН с размерами частиц 50–100 мкм, несущей жидкости этиленгликол

В работе мы использовали магнитореологическую жидкость, состоящую из ферромагнитного материала: феррит марки 400НН и 600НН, используемый в качестве сердечника катушек индуктивности в радиоэлектронных устройствах, с размерами частиц 0–50 мкм и 50–100 мкм. В качестве несущей жидкости использовали этиленгликол и глицерин.

Опытная установка (рис. 1) является одноступенчатым МЖУ с магнитоологической жидкостью. Для удержания больших давлений необходимо последовательно установить несколько ступеней МЖУ. Для испытания создали перепад давления (вакуум) $P_{изб}$ 80 кПа. Диаметр защитной втулки в опытной установке $d = 22,26$ мм. Она изготовлена из стали марки 40Х механической обработкой и с последующей термической обработкой. После этого поверхность втулки обработали шлифованием, поверхность становилась достаточно гладкой. В ходе эксперимента скорость вращения втулки изменяли ступенчато, $n_1 = 970$ об/мин и $n_2 = 1460$ об/мин. Также в ходе эксперимента сохранили постоянным значение зазора $\delta = 20$ мкм между втулкой и дисками, являющимися полюсами постоянного магнита. При этом наблюдали зависимость удержания избыточного давления (вакуума) $P_{изб}$ от времени T (рис. 2).

Литература

1. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев. – М. : Высш. шк., 2005.
2. Иванов, М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов. – М. : Высш. шк., 2001.
3. Спицын, Н. А. Опоры осей и валов машин и приборов / Н. А. Спицын. – СПб. : Машиностроение, 2010.
4. Биргер, И. А. Детали машин. Расчет и конструирование : справочник / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 2008.
5. Чернавский, С. А. Курсовое проектирование деталей машин / С. А. Чернавский. – Изд. 2. – М., 2005.
6. Мархель, И. И. Детали машин / И. И. Мархель. – М., 2011.

УДК 62.82

ХИММОТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Ю. А. Андреев, Е. С. Нагорный

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

Для эффективной эксплуатации мобильных машин и стационарного промышленного оборудования с гидроприводом необходимо создать условия оптимального теплового состояния, обеспечивающего стабильность рабочих характеристик компонентов гидропривода [1].

Целью настоящей работы является установление функциональной связи между потерями энергии при дросселировании и нагревом рабочей жидкости, а также составление химмотологической карты гидросистемы.

Время службы рабочей жидкости зависит от температуры [1], [2], ее следует поддерживать на уровне 30–60 °С. Существует эмпирическое правило: срок службы масла уменьшается вдвое каждый раз при увеличении его рабочей температуры на каждые 8 °С выше 60 °С. Причиной этого является окисление. При окислении масло становится темнее по цвету, повышается его вязкость. Последующее за этим увеличение рабочей температуры еще более ускоряет процесс окисления, и масло становится непригодным для работы в гидросистеме.

Для химмотологического анализа теплового режима гидросистемы применяется закон сохранения потока энергии для установившегося теплового режима: сумма подводимых и отводимых мощностей является величиной постоянной [3]–[5].

48 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

Подводимый поток энергии к рабочей жидкости состоит из нескольких частей:

1) теряемая мощность на насосах и двигателях:

$$N_{V,ГМ} = \sum_{i=1}^n Q_{Hi} \Delta p_{Hi} \left(\frac{1}{\eta_{Hi}} - 1 \right) + \sum_{j=1}^n Q_{ГДj} \Delta p_{ГДj} (1 - \eta_{ГДj}),$$

где Q_{Hi} – подача i -го насоса; Δp_{Hi} – перепад давления на i -м насосе; η_{Hi} – полный КПД i -го насоса; $Q_{ГДj}$ – расход j -го гидродвигателя; $\Delta p_{ГДj}$ – перепад давления на j -м ГД; $\eta_{ГДj}$ – полный КПД j -го ГД;

2) теряемая мощность в результате внутренних утечек в гидроаппаратах и при дросселировании:

$$N_{V,ГА,УТ} = \sum_{i=1}^n q_i p_i, \quad N_{V,ГА,ДР} = \sum_{i=1}^n Q_i \Delta p_i,$$

где q_i – внутренние утечки в i -м ГА; p_i – рабочее давление на i -м ГА; Q_i – расход на i -м ГА, где происходит дросселирование потока; Δp_i – потери давления на i -м ГА;

3) теряемая мощность из-за сопротивления потоку в трубопроводе:

$$N_{V,ТП} = \sum_{i=1}^n (Q_i \sum \Delta p_i),$$

где Q_i – расход через i -й ТП; $\sum \Delta p_i$ – суммарные потери давления в i -м ТП.

Отводимая от гидросистемы мощность – это сумма мощностей, рассеиваемых через конструктивные элементы гидробака (крышка, дно, стенки) и через поверхности трубопроводов [4], [6], [7]:

$$N_{o.c} = (\Theta_{доп} - \Theta_{o.c}) (k_{кр} S_{кр} + k_{дн} S_{дн} + k_{т} S_{т} + S_{ТП} k_{б}),$$

где $\Theta_{доп}$ – допустимое значение температуры; $\Theta_{o.c}$ – температура окружающей среды; $k_{кр}$, $k_{дн}$, $k_{т}$, $k_{б}$ – коэффициенты теплопередачи; $S_{кр}$, $S_{дн}$, $S_{т}$ – площадь соответствующей части конструкции гидробака; $S_{ТП}$ – площадь теплоизлучающей поверхности трубопровода.

Химмотологический анализ производился на базе гидросистемы подъемника гидравлического специального, который имеет пять гидродвигателей возвратно-поступательного движения и один возвратно-поворотного (рис. 1). Параметры гидропривода: расход в гидролиниях 9 л/мин; номинальное давление 16 МПа; рабочая жидкость – масло гидравлическое загущенное ВМГЗ; температура рабочей жидкости 50 °С и др.

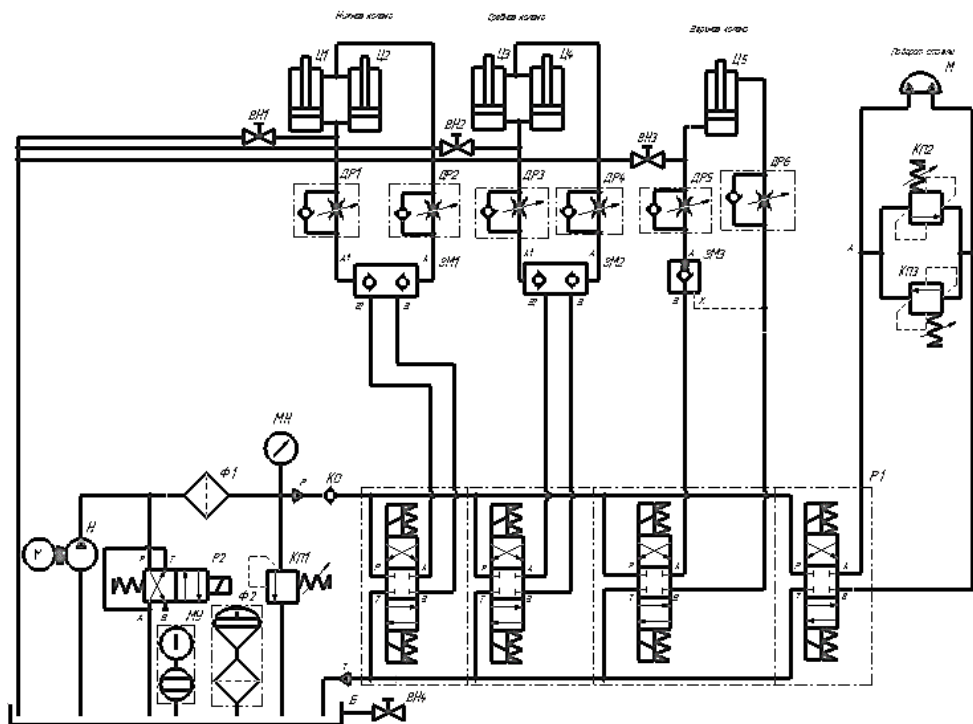


Рис. 1. Схема гидропривода подъемника гидравлического специального

В результате анализа потерь в гидроприводе определены поверхности и гидроаппараты, отдающие энергию, составлена химмотологическая карта гидросистемы. Установлено, что повышение скорости движения приводит к интенсивному дросселированию потока в зазорах и малых отверстиях гидроаппаратов и гидромашин. Определено, что в процессе работы теряемая энергия идет на нагрев рабочей жидкости. Также установлено, что для исследуемой гидросистемы, сохраняется тепловой баланс и температура рабочей жидкости не превышает допустимого значения.

Литература

1. Андреев, Ю. А. Электронный курс по дисциплине «Рабочие жидкости, смазки и уплотнения гидропневмосистем» / Ю. А. Андреев, Д. В. Лаевский. – Режим доступа: <http://www.edu.gstu.by/course/view.php?id=560>.
2. Никитин, О. Ф. Рабочие жидкости гидроприводов : учеб. пособие / О. Ф. Никитин. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 152 с. : ил.
3. Проектирование гидравлических систем машин : учеб. пособие / Г. М. Иванов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1992. – 224 с.
4. Гойдо, М. Е. Проектирование объемных гидроприводов / М. Е. Гойдо. – М. : Машиностроение, 2009. – 304 с.
5. Наземцев, А. С. Гидравлические и пневматические приводы и системы. Ч. 2. Гидравлические приводы и системы : учеб. пособие / А. С. Наземцев. – М. : Форум, 2007. – 304 с.
6. Ковалевский, В. Ф. Теплообменные устройства и тепловые расчеты гидроприводов горных машин / В. Ф. Ковалевский. – М. : Недра, 1972. – 224 с.
7. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд. 2-е, стер. – М. : Энергия, 1977. – 343 с.

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ПРОИЗВОДСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЮ ГИДРОСИСТЕМЫ ПРИ ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Ю. А. Андреевец, Д. О. Шмырев

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

Правильная и качественная очистка рабочей жидкости является залогом долгой и безотказной работы гидравлической системы.

Целью настоящей работы является анализ зависимости стоимости производства и эксплуатации гидросистемы от тонкости фильтрации рабочих жидкостей.

Требуемая степень чистоты жидкости может быть достигнута путем выбора концепции фильтрования, наиболее приемлемой для конкретных условий. При этом несущественно, предусматривает ли принятая концепция установку одного или нескольких фильтров, если она выбрана оптимальной [1]–[3]. В общем случае оптимальная концепция фильтрования должна содержать «рабочий фильтр». Рабочие фильтры очищают систему до требуемой степени чистоты жидкости, предотвращая возникновение износа, и поддерживают этот уровень чистоты в течение всего срока службы. В системах автоматического регулирования оптимальная концепция фильтрования предполагает также наличие «защитного фильтра». Защитные фильтры предохраняют от внезапных сбоев, вызываемых относительно крупными частицами, особо важные или дорогие компоненты. Они должны располагаться как можно ближе к защищаемым компонентам.

Таким образом, проектирование оптимальной схемы гидросистемы должно включать в себя анализ первоначальных затрат в производство гидросистемы и затрат на техническую эксплуатацию и ремонт за отчетный период. Основой для данного анализа является проектирование схемы гидравлической принципиальной с точки зрения выбора оптимальной системы фильтрации и чаще всего возникает вопрос о необходимости применения фильтров на напорной линии (рис. 1).

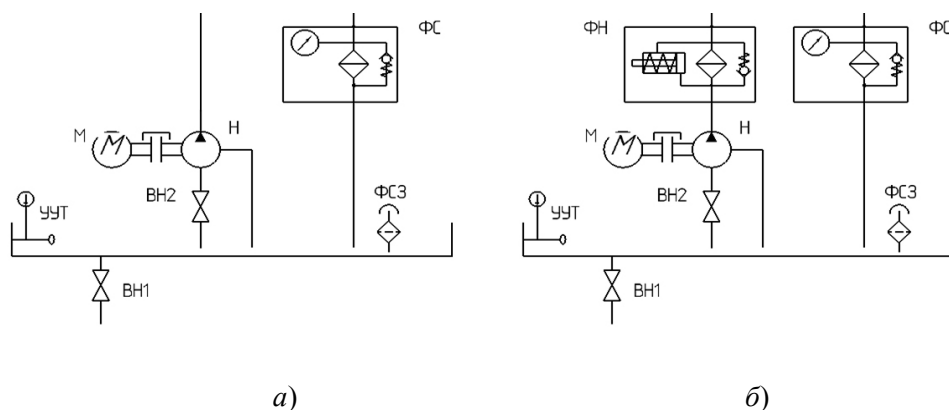


Рис. 1. Схемы фильтрования: а – установка «рабочего» фильтра на сливной линии; б – установка «рабочего» фильтра на сливной линии и «защитного» фильтра на напорной линии

Существует ряд исследований, в результате которых даны рекомендации по тонкости фильтрации в гидросистеме при применении определенного оборудования [3]–[6] (табл. 1).

Рекомендуемые уровни абсолютной фильтрации для различных гидроустройств

Гидравлическое устройство	Класс чистоты (NAS-I638)	Код (ISO 4406)	Уровень фильтрации, мкм
Шестеренные насосы, цилиндры, распределители, дроссели, предохранительные клапаны	9	21/18/15	10
Поршневые насосы, пластинчатые насосы, напорные клапаны	9	21/18/15	10
Сервоклапаны	4	16/13/10	3

На основании данных рекомендаций был произведен анализ стоимостных затрат на гидросистему стенда для испытаний агрегатов для ремонта скважин (рис. 2).

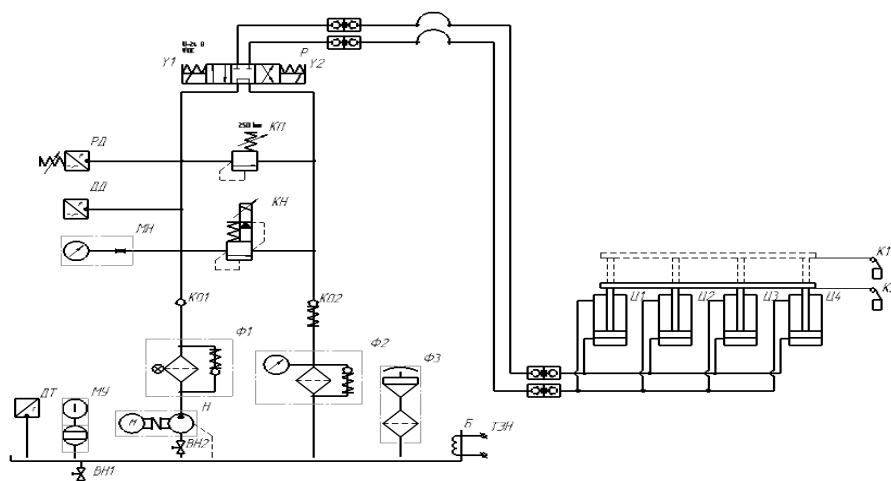


Рис. 2. Принципиальная гидравлическая схема стенда

Периодичность планово-предупредительной системы обслуживания устанавливается на конкретное гидроустройство заводом-изготовителем [7].

В исследуемой гидросистеме наиболее требовательным и ответственным гидроаппаратом является пропорциональный напорный клапан (рис. 2). В результате исследования были определены затраты на замену данного клапана в зависимости от того, установлен фильтр на напорной линии или нет (табл. 2).

Таблица 2

Результаты исследования

Состав	Тонкость фильтрации, мкм	Сроки замены рабочей жидкости	Сроки технического обслуживания, час	Примерная стоимость замены оборудования при ТО
ГС с фильтром на напорной линии	10	2 раза в год	Каждые 12000–15000	80–90 р.
ГС без фильтра	40	4 раза в год	Каждые 1000–3000	1500–1800 р.

Произведен анализ зависимости стоимости производства и эксплуатации гидросистемы от тонкости фильтрации рабочих жидкостей. Выявлено, что при использовании фильтра в гидросистеме повышается срок эксплуатации прецизионных гидроаппаратов и уменьшаются затраты на обслуживание гидросистемы. Таким образом, для систем с повышенными требованиями к чистоте рабочей жидкости, целесообразна установка фильтра на напорной линии.

Л и т е р а т у р а

1. Маннесман, Рексрот. Проектирование и сооружение гидроустановок : учеб. курс гидравлики : в 3 т. Т. 3 / Рексрот Маннесман. – Лор на Майне, 1988. – 380 с.
2. Финкельштейн, З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З. Л. Финкельштейн. – М. : Недра, 1986. – 232 с. : ил.
3. Кондаков, Л. А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л. А. Кондаков. – М. : Машиностроение, 1982. – 216 с.
4. Шабанов, В. К. Оптимальная фильтрация рабочих жидкостей и выбор фильтрующих устройств для гидросистем / В. К. Шабанов, В. А. Васильченко // Приводная техника. – 1989. – № 3–4. – С. 55–58.
5. Свешников, В. К. Фильтрация рабочих жидкостей в современных гидроприводах / В. К. Свешников // Гидравлика и пневматика. – 2004. – № 11–12. – С. 15–17.
6. Барышев, В. И. Классификация, контроль и нормирование промышленной чистоты рабочих жидкостей и масел / В. И. Барышев // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. – 2005. – Т. 6. – № 1 (41). – С. 149–162.
7. Режим доступа: <https://belgidrosila.ru/encziklopediya/osnovyi-remonta-i-obslužhivaniya-gidroprivoda.html>.

УДК 621.83.06

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ РАДИАЛЬНО- ПЛУНЖЕРНЫХ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

А. В. Капитонов, К. В. Сасковец

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

Целью исследований являлась разработка новых конструкций планетарных радиально-плунжерных передач и методов, позволяющих проводить оценку их точности.

Преимущества данных передач заключаются в небольших их массогабаритных характеристиках, больших передаточных отношениях, соосности валов, невысокой стоимости. Эти передачи могут быть использованы в мехатронных устройствах, приводах промышленных роботов, автоматизированном производстве, где механизмы имеют узлы точной механики и к ним предъявляются высокие требования в отношении кинематической точности [1], [2].

Для проведения исследований разработаны модели малогабаритных планетарных редукторов с улучшенными кинематическими характеристиками на основе радиально-плунжерной передачи с одной и двумя ступенями и передаточными отношениями 7, 11, 49, 121. Предлагаемые конструкции редукторов позволяют повысить кинематическую точность и плавность работы уравниванием ведущего звена двумя эксцентриками и ведущими кольцами, установленными оппозитно друг другу, а также применением специального периодического профиля колеса, по которому перемещаются промежуточные тела качения – шары-сателлиты, воспроизводящие

закон движения с высокой точностью. Уравновешенность ведущего звена и применение специального профиля на внутренней цилиндрической поверхности колеса уменьшает динамические нагрузки и повышает кинематическую точность и плавность работы редуктора. При этом его нагрузочная способность увеличивается за счет большего количества шаров, передающих полезную и равномерную распределенную нагрузку в зацеплении.

Методика проведения исследований кинематической точности разработанных редукторов заключалась в оценке их кинематики и динамики путем симуляции вращения модели с заданными параметрами под нагрузкой и определении при этом угловой скорости, ускорений деталей зацепления, сил и моментов в условиях, близких к эксплуатационным. Модель разработана в среде лицензионного программного продукта Siemens NX и проведено моделирование в модуле Motion Simulation. Для проверки адекватности результатов компьютерного моделирования кинематические характеристики редукторов рассчитывались по формулам, приведенным в работе [1].

Результаты исследований показали, что колебания угловой скорости ведомого вала из-за динамических нагрузок, вследствие зазоров, ударов шаров-сателлитов при вхождении в зацепление и других факторов при моделировании вращения с приложенным моментом 60 Нм на ведомом звене составили не более 3 % от номинальной угловой скорости выходного вала, что обеспечивает высокую кинематическую точность разработанных редукторов на основе радиально-плунжерной передачи.

Литература

1. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 221 с.
2. Капитонов, А. В. Компьютерное 3D-моделирование конструкций и кинематических параметров планетарных малогабаритных передач / А. В. Капитонов, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. – 2016. – № 11. – С. 34–40.

УДК 658.512.011.56

РОЛЬ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛИ ПРИ СОЗДАНИИ ЕЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ 3D-МОДЕЛИ

А. В. Петухов

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

Тенденции развития промышленного производства характеризуются повышением сложности, расширением номенклатуры, сокращением сроков сменяемости и ужесточением требований к качеству изделий, поэтому проблемы повышения качества и сокращения сроков освоения новой конкурентоспособной на рынках сбыта продукции являются весьма актуальными для Республики Беларусь [1]. Указанные проблемы решаются за счет использования преимуществ интегрированных систем автоматизированного проектирования и производства. Учитывая основное требование к интегрированным САПР, а именно то, что они должны охватывать все этапы проектирования – от ввода описания проектируемого объекта до получения полного комплекта конструкторской и технологической документации, включая управляющие программы для оборудования с ЧПУ, представляется целесообразным рассмотреть роль формализованного описания конструктивных элементов детали при создании ее параметрической 3D-модели. Это направление, безусловно, не решит всех

проблем создания интегрированных систем, но заложит необходимый фундамент для интеграции конструкторского и технологического проектирования.

При разработке интегрированной системы проектирования вначале необходимо определить группу (тип) деталей, наиболее распространенных на предприятии. В качестве классификационных признаков для деталей общемашиностроительного применения приняты следующие характеристики: геометрическая форма детали, конструктивная характеристика отдельных элементов детали, взаимное расположение элементов детали, параметрический признак, наименование детали и ее функция.

Геометрическая форма детали является наиболее объективным и стабильным признаком при ее описании. Она характеризует непосредственно деталь независимо от ее функции. Наряду с этим важным показателем для решения задач проектирования является параметрический признак.

При разработке интегрированных систем необходимо стремиться к максимальному укрупнению групп деталей, которые сохраняют типовые особенности конструкции и технологии изготовления.

Количество разновидностей элементарных и типовых поверхностей деталей машин колеблется от нескольких сотен до 2–3 тысяч и зависит от номенклатуры выпускаемых предприятием изделий. Такое большое разнообразие типовых и нормализованных поверхностей затрудняет их выявление, описание и составление словаря первичных структурных элементов деталей машин.

Задача резко упростится, если в основу словаря положить геометрические закономерности формообразования поверхностей. При таком подходе достаточно просто устанавливается связь между описанием поверхностей и их изображениями на чертеже.

Большинство поверхностей в деталях машин являются кинематическими, т. е. они могут быть получены перемещением линии (образующей) в пространстве по определенному закону. Закон перемещения образующей задается направляющими линиями, по которым в пространстве скользит образующая. Форма наиболее распространенных элементарных и типовых поверхностей будет задана, если указаны ось поверхности i , направляющая m и образующая l линии: $\Phi(i, m, l)$.

Различные виды типовых и нормализованных поверхностей возникают за счет большого разнообразия форм образующих линий при сравнительно небольшом числе различных законов движения этих линий в пространстве. Так, для класса плоских поверхностей в качестве направляющей принимается прямая линия, для поверхности вращения – окружность, для винтовых – винтовая линия и т. д. В связи с этим в основу словаря первичных структурных элементов деталей машин целесообразно принять следующие признаки: закон движения образующей в пространстве, форму образующей, конструктивные разновидности поверхности по длине.

По этому признаку все поверхности разбиты на виды и типы. Исследование позволило выявить 58 общих параметров, характеризующих 86 элементарных поверхностей.

Апробация метода формализованного описания проводилась путем разработки на основе анализа деталей класса «тела вращения» параметрической модели их графического отображения и состояла из пяти этапов.

Первый этап – анализ чертежей деталей, входящих в группы деталей машин класса «тела вращения» с $L > 2D$, с целью определения состава конструктивных параметров.

В полученной модели значения параметров элементов можно задавать с использованием переменных и выражений. Каждая переменная имеет уникальное имя и значение, которое можно рассчитывать в соответствии с математическим выраже-

нием. Кроме того, переменная имеет комментарий, в котором можно указать параметр, определяемый этой переменной.

Второй этап – создание внешней базы данных конструктивных параметров деталей группы и ее наполнение численными значениями. Созданная база данных представляла собой набор строк (записей). Каждая строка (запись) состояла из отдельных колонок (полей). Каждое поле идентифицировалось своим именем.

Третий этап – организация процесса передачи текстовых и численных значений конструктивных параметров деталей группы из внешней базы в систему графического отображения на примере T-FLEX CAD.

Для адекватного восприятия данных из внешней базы в файле чертежа, создаваемого при помощи системы графического отображения, были описаны внешние (принимаемые) параметры. Работа эта выполнялась при помощи редактора переменных.

Четвертый этап – построение параметрического чертежа, обобщающего все конструктивные элементы группы деталей. Работа базы данных с системой графического отображения на примере T-FLEX CAD при различном количестве отверстий во фланцевом элементе детали.

Пятый этап – построение на базе полученного чертежа параметрической 3D-модели, ассоциативно связанной с чертежом и автоматически перестраиваемой при изменении числовых параметров конструктивных элементов.

В результате проведенного исследования на базе формализованного описания информации о деталях машин класса «тела вращения» создана параметрическая модель их графического отображения, использование которой реально сокращает трудоемкость, повышает качество конструкторского проектирования и обеспечивает автоматическую передачу его результатов в систему автоматизированного проектирования технологических процессов. Таким образом, была выявлена роль формализованного описания конструктивных элементов детали при создании ее параметрической 3D-модели. Полученный результат в виде отработанной методики рекомендуется для использования в учебном процессе и конструкторском проектировании деталей промышленного изготовления.

Л и т е р а т у р а

1. Учебное пособие для вузов / И. П. Филонов [и др.]. – Минск : Технопринт, 2003. – 910 с.

УДК 531.391

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ МЕХАНИЗМА РАДИАЛЬНОГО ИЛОСКРЕБА

С. Ф. Андреев, О. В. Мирончук

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

Расположенный в радиальном отстойнике первичной очистки илоскреб (рис. 1), предназначенный для сгребания осадка, выпадающего на дно радиального отстойника, представляет собой вращающийся механизм со скребковыми крыльями и периферийным приводом.

Неравномерное распределение толщины и плотности осадка по дну отстойника приводит к случайным ударным нагрузкам скребковых крыльев и ослаблению их крепления к опорно-поворотному узлу, что, в свою очередь, вызывает вынужденные колебания скребковых крыльев в вертикальной плоскости, амплитуда которых пре-

56 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

вышает допускаемые значения. Согласно технической документации, для радиальных илоскребов допускаемое вертикальное отклонение оси скребкового крыла от горизонтали не должно превышать 1 мм на длине 1 м. В свою очередь, вертикальные колебания вращающейся фермы вызывают изменение положения ведущего колеса ходовой тележки на борту радиального отстойника и его пробуксовку, что приводит к изменению величины крутящего момента, и следовательно, равномерности вращательного движения скребковых крыльев.

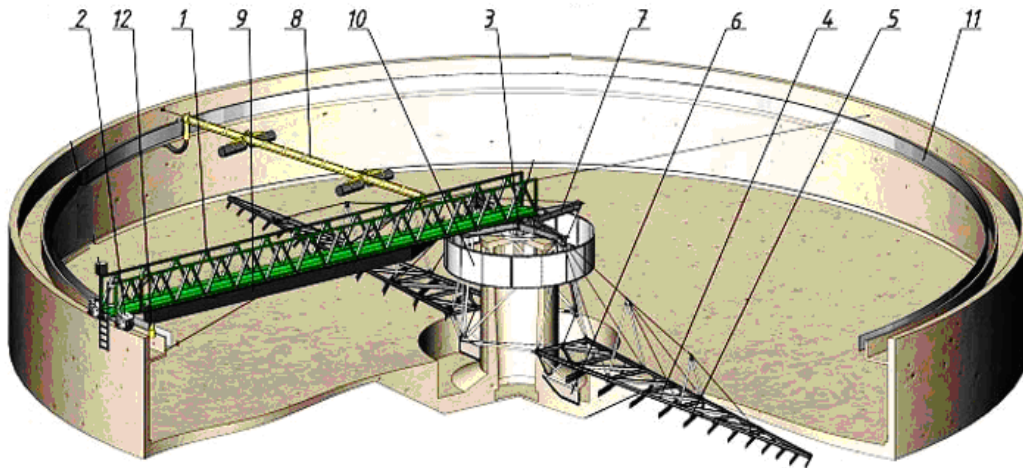


Рис. 1. Общий вид и принципиальное устройство илоскреба:

- 1 – пешеходный подвижный мост; 2 – приводная тележка;
- 3 – опорно-поворотный узел моста и рамы подвески скребковых крыльев;
- 4 – скребковые крылья; 5 – скребки периферийные; 6 – скребки прямая;
- 7 – рама подвески скребковых крыльев; 8 – труба сбора плавающих веществ;
- 9 – полупогружной скребок сбора плавающих веществ; 10 – направляющий цилиндр; 11 – борт радиального отстойника

В настоящее время из-за несовершенности определения гидравлической крупности осадка, и следовательно, неравномерности распределения толщины осадка расчеты динамических параметров механизма илоскребов производятся с достаточно большим запасом, что значительно усложняет конструкцию, повышает ее металлоемкость и стоимость.

Задачей данного исследования является создание математической модели функционирования радиального илоскреба для определения оптимальных динамических параметров, минимизирующих амплитуду вынужденных колебаний. В данной работе авторами предлагается замещающая динамическая модель в виде системы с тремя степенями свободы, в которой узлы стыковки пешеходного моста и приводной тележки, скребковых крыльев и опорно-поворотного узла заменяются безмассовыми демпфирующими устройствами, допускающими малые линейные перемещения с упруго-диссипативными характеристиками. Эта модель является циклической и имеет три степени свободы, причем одна из обобщенных координат φ является циклической. В цикловых механизмах связь между координатами на «входе» и «выходе» описывается нелинейной функцией положения [1]. В качестве двух других обобщенных координат примем отклонения абсолютных координат упруго-диссипативных связей от их идеальных значений: угол поворота скребковых крыльев и вертикальное упругое смещение в центральном опорном узле.

Активными силами, действующими в рассматриваемой системе, являются: а) крутящий момент $M_{дв}$ электродвигателя приводной тележки; б) силы и моменты сил сопротивления, вызванные выполняемым технологическим процессом, которые приложены к скребковой ферме при движении скребков по неровностям поверхности осадка; в) упругие и диссипативные силы, возникающие при деформации упругих элементов.

В математической модели примем допущения, упрощающие ее решение:

1. Обобщенная координата, определяющая вертикальные смещения в зазорах опорных кинематических пар подчинена условию: $|z| \leq \delta$, где δ – величина зазора в анкерном креплении.

2. Рассматриваются только вертикальные смещения в зазорах анкерных креплений.

3. Силы упругости в зазорах кинематических пар имеют линейный характер [2].

В математических расчетах имеющие сложный характер силовые характеристики с использованием метода гармонического анализа представлены в аналитической форме, что позволяет для создания математического алгоритма использовать систему трех уравнений Лагранжа II рода. В результате решения жесткой системы дифференциальных уравнений методом численного интегрирования получены осциллограммы обобщенных скоростей для трех различных вариантов динамической характеристики электродвигателя $M_K(\omega)$.

Анализ полученных результатов показал: а) колебания в анкерных соединениях центрального опорного узла с фундаментом вызывают дополнительные периодически изменяющиеся вертикальные смещения илоскреба; б) увеличение коэффициента жесткости центрального опорного узла увеличивает собственные частоты и не может являться эффективной мерой ограничения колебаний, а снижение жесткости приводит к большим динамическим нагрузкам, вызывающим интенсивные колебательные движения скребковых крыльев; в) на динамику илоскреба существенное влияние оказывает динамическая характеристика асинхронного электродвигателя – регулируя посредством частотного преобразователя вид функции $M_K(\omega)$, можно добиться минимального влияния неровной поверхности илового осадка на равномерное движение илоскреба.

Л и т е р а т у р а

1. Вульфсон, И. И. Нелинейные задачи динамики машин / И. И. Вульфсон, М. З. Коловский. – М. : Машиностроение, 1968. – 284 с.
2. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. Т. 2: Динамика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – СПб. : Лань, 2009.

УДК 621

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

Д. С. Солдатенко¹, Басинюк В. Л.²

¹ОАО «Минский тракторный завод», Республика Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

Целью настоящей работы является повышение производительности и экономичности колесных сельскохозяйственных тракторов путем разработки и создания электромеханической трансмиссии.

В настоящее время коммерческий интерес к системам с комбинированными силовыми установками (КСУ) вырос гораздо более резко, чем это было предсказано десять лет назад. Примерно в это же время многие отраслевые наблюдатели прогнозировали более оптимистичный прыжок от технологий, базирующихся на нефтяном сырье, напрямую к водороду, топливным элементам (аккумуляторным батареям) и системам, работающим на биотопливе. Тем не менее, в настоящее время принято полагать, что системы с комбинированными силовыми установками будут играть важную роль следующие несколько десятилетий, поскольку эти и другие технологии продолжают развиваться.

Растущий интерес к КСУ связан в первую очередь с экологическими проблемами и экономией топлива. Экологические стандарты, принимаемые в Европейском Союзе, заставляют производить более совершенные бензиновые и дизельные двигатели. Более экономичные циклы работы позволяют снижать расход топлива и выброс вредных веществ, не жертвуя такими факторами, как безопасность, надежность и производительность.

Системы с КСУ используют преимущества современных бензиновых или дизельных двигателей и электрических машин. Двигатель внутреннего сгорания обеспечивает большую часть мощности транспортного средства, а электромотор – дополнительную мощность, когда необходимы обгон и ускорение (параллельная схема расположения силовых агрегатов), что позволяет меньшим по габаритам и более эффективным ДВС работать в зоне максимальной эффективности.

Для колесных сельскохозяйственных тракторов электромеханическая трансмиссия может быть построена по нескольким принципиальным схемам. Схема с последовательным расположением электромашин (рис. 1) является наиболее простой и дешевой ввиду того, что она позволяет сохранить серийные ведущие мосты, а согласование параметров тягового электродвигателя и тяговой характеристики трактора осуществить согласующим редуктором. Трансмиссия имеет наиболее простой алгоритм управления, так как основные функции распределения мощности и крутящего момента между колесами осуществляются стандартными механическими дифференциальными механизмами, а подключение переднего ведущего моста производится теми же механизмами, что и в механической трансмиссии. Данная концепция была реализована на ОАО «Минский тракторный завод» совместно с концерном «Русэлпром», в результате чего на базе серийной модели трактора «Беларус-3022» был создан макет колесного трактора с электромеханической трансмиссией и проведены его полевые испытания.

В этом случае двигатель внутреннего сгорания работает только на генератор, при этом выбирается режим минимального расхода топлива. Энергия, вырабатываемая генератором, подается либо на тяговый электродвигатель, либо на накопитель энергии (в схеме не предусмотрен). ТАД обеспечивает весь необходимый силовой и скоростной диапазоны сельскохозяйственного трактора, позволяя ему работать в режиме «поле» и «дорога».

Основными параметрами любой силовой установки являются мощность и ее компоненты (крутящий момент и частота вращения), удельный расход топлива, а также взаимосвязь этих параметров на всех возможных режимах работы. Для ДВС данные параметры отражает внешняя скоростная характеристика, а для тягового электропривода – механическая характеристика тягового двигателя. Методика совмещения данных характеристик позволяет согласовать тяговый электродвигатель с параметрами трактора.

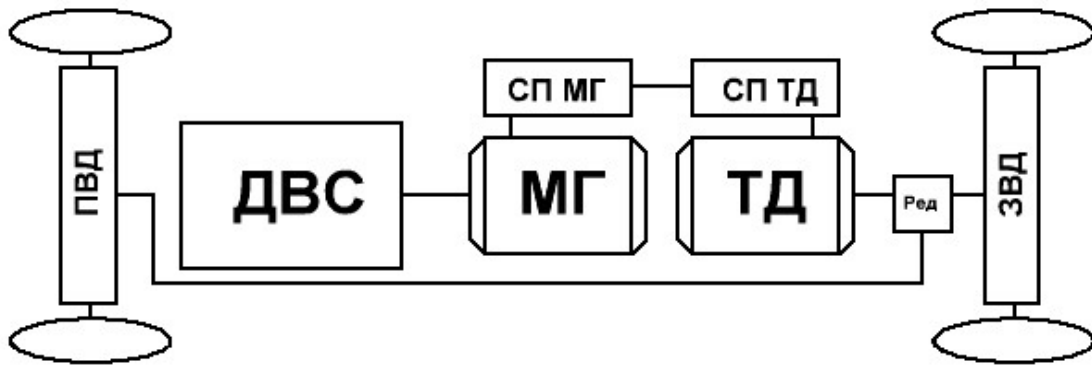


Рис. 1. Структурная схема трактора

с последовательным расположением электромашин:

ПВД – передний ведущий мост; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; МГ – мотор-генератор; ТД – тяговый электродвигатель; СП МГ – силовой преобразователь мотор-генератора; СП ТД – силовой преобразователь тягового электродвигателя; Ред – согласующий редуктор; ЗВД – задний ведущий мост

Формирование тяги трактора определяется характеристикой тягового двигателя, приведенной к двигателям трактора на каждом диапазоне трансмиссии. В качестве базовой трансмиссии выбрана серийная трансмиссия 2822-0002000-Б трактора «Беларус-3022».

Скоростная характеристика трактора с электрическим приводом также, как и механическая характеристика ТД, будет иметь на каждой i -й ступени механической трансмиссии два характерных участка: участок постоянной тяги, на котором трактор трогается с места, и участок постоянной тяговой мощности на ведущих колесах, на котором трактор выполняет свои основные функции.

Использованные методики. Согласование ДВС и генератора; построение механической характеристики тягового электродвигателя и скоростной характеристики трактора на каждой i -й ступени механической трансмиссии.

Полученные научные результаты и выводы. Данная методика оценки параметров трансмиссии на основании разгонных качеств колесного трактора позволяет на стадии разработки эскизного проекта рассчитать параметры тягового электродвигателя. Полученная теоретическим путем скоростная характеристика трактора отображает реальные процессы взаимодействия объекта с опорной поверхностью.

УДК 621-82.001.4

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОГО КПД ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РЕСУРС ГИДРОЦИЛИНДРА

Ю. А. Андреев, П. О. Кривошеев

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

Испытания гидропневмоустройств на долговечность обычно называют ресурсными. При этом, как правило, воспроизводятся эксплуатационные условия, режимы испытаний и нагруженность. В результате оценивается долговечность, безотказность и ремонтпригодность.

Для ускорения получения необходимой информации применяют ускоренные ресурсные испытания. Ускорение может достигаться за счет более высоких значений режимных, климатических, цикловых и других параметров. Применение ускоренных ресурсных испытаний экономически выгодно и, самое главное, сокращает сроки освоения новой техники. Конечно, им должны предшествовать этапы исследований, которые позволяют обосновать идентификацию результатов.

Целью настоящей работы является изучение возможности сокращения продолжительности ресурсных испытаний при получении зависимости изменения объемного КПД от времени испытания.

Основным показателем работоспособности гидроцилиндра является величина внутренней утечки, которая определяет его объемный КПД.

Объемный КПД находится по следующей формуле:

$$\eta_{об} = \frac{Q_t}{Q_d}, \quad Q_d = Q_t - Q_{ут}, \quad Q_{ут} = \frac{\pi D J^3}{96 \mu L} \left(1 + \frac{3\varepsilon^2}{2(J/2)^2} \right) \Delta P,$$

где Q_t – теоретический расход жидкости; Q_d – действительный расход жидкости; $Q_{ут}$ – величина внутренней утечки; J – диаметральный зазор; D – средний диаметр рассматриваемого участка; μ – динамическая вязкость; L – длина рассматриваемого участка; ε – эксцентриситет; ΔP – разница давлений между полостями гидроцилиндра.

При прочих равных условиях величина утечки будет зависеть от изменения величины зазора от разницы давления и температуры жидкости, которые соответственно определяются по формулам:

$$\Delta \varepsilon_p = \frac{p_n d_n}{200E} \left(\frac{d_n^2 + d_r^2}{d_n^2 - d_r^2} + \mu' \right), \quad \varepsilon = \frac{d_n}{20} \Delta \alpha \Delta T,$$

где p_n – давление в напорной гидролинии; d_n – диаметр поршня; d_r – внутренний диаметр гильзы; E – модуль упругости материала гильзы; μ' – коэффициент Пуассона; $\Delta \alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ – разность коэффициентов линейного расширения материалов сопряженных деталей гильзы и поршня; ΔT – разность между температурой материала сопряженных деталей и исходной температурой.

Испытания на ресурс двухштокового гидроцилиндра ГЦ 80-40-250 с диаметром поршня $D = 80$ мм, диаметром штока $d = 40$ мм, скоростью движения $\vartheta = 0,2$ м/с и номинальным давлением $P_{ном} = 16$ МПа проводились на стенде, который реализован по схеме, показанной на рис. 1. Испытания проводились при номинальном давлении, на рабочей жидкости И-40А, без осевых нагрузок в соответствии с ГОСТ 18464–96 «Гидроцилиндры. Правила приемки и методы испытаний».

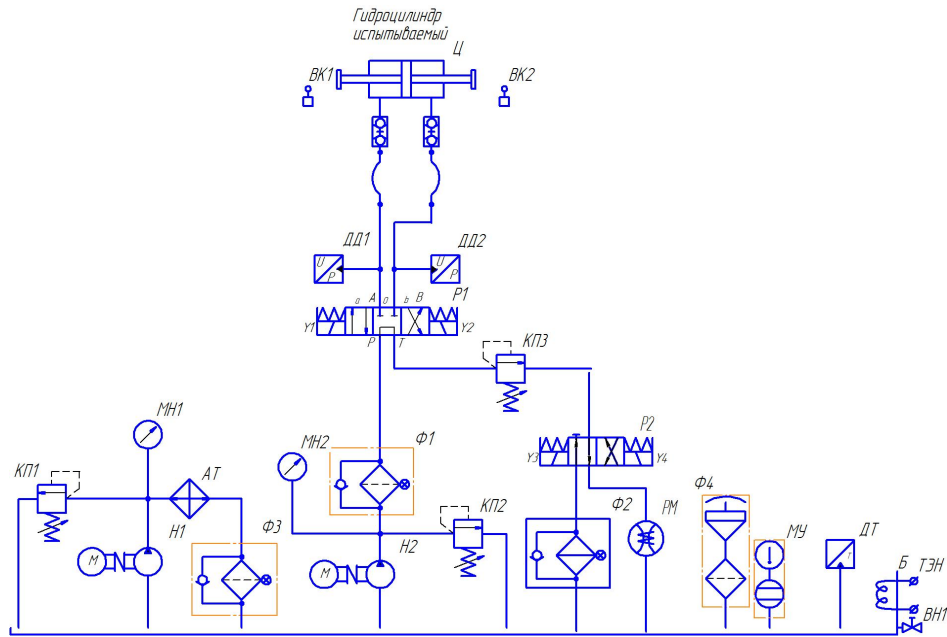


Рис. 1. Схема стенда для испытания гидроцилиндра на ресурс

В результате исследований и испытания было установлено, что величина внутренних утечек напрямую зависит от продолжительности испытания, от температуры и загрязненности рабочей жидкости, от величины зазора, а следовательно, объемный КПД, который характеризует внутренние утечки, также будет зависеть от величины зазора и времени испытания. Таким образом, было установлено, что нет необходимости проводить ресурсные испытания в полном объеме ($2,5 \cdot 10^6$ циклов), так как после половины времени испытания график зависимости объемного КПД от времени испытания дает понять, как изменяется объемный КПД в дальнейшем.

Литература

1. Желтовский, Б. Ю. Исследования и испытания гидропневмосистем машин : учеб.-метод. пособие для вузов / Б. Ю. Желтовский, М. Г. Халамонский, В. С. Шевченко. – Минск : Технопринт, 2004. – 12 с.
2. Макаров, Г. В. Уплотнительные устройства / Г. В. Макаров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1973. – 232 с.
3. Уплотнения и уплотнительная техника : справочник / Л. А. Кондаков [и др.] ; под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.
4. Гидроцилиндры. Правила приемки и методы испытаний : ГОСТ 18464–96.

УДК 62-33

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СДВОЕННОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В ГИДРОПРИВОДЕ ПРЕССА

Д. Ю. Мицура, Д. Л. Стасенко, Ю. А. Андреев

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

Введение. Одним из важнейших требований, предъявляемых к проектируемым изделиям в настоящее время, является оптимальное использование ресурсов и ра-

циональное энергопотребление. Гидропривод имеет довольно низкий КПД в сравнении с другими видами привода. Поэтому проведение работ по оптимизации привода и его составных частей является актуальной задачей как в практической, так и в теоретической части. Целью данной работы является обоснование использования сдвоенных насосов, настроенных на разную подачу и давление в гидроприводах прессов для повышения КПД.

В качестве гидродвигателя в гидроприводе используется гидроцилиндр, выходным звеном которого (и гидропривода в целом) является шток. Для упрощения принимаем следующие допущения: пренебрегаем всеми видами потерь энергии в гидроприводе (включая потери энергии в гидромашинах), инерционностью и нежесткостью элементов гидропривода и возможным отличием давления в баке гидропривода от атмосферного. Указанные допущения, как правило, не изменяют сути конечных результатов.

Пусть, например, зависимость $f = p(z)$ такова, что увеличению координаты z штока гидроцилиндра на всем протяжении его рабочего хода соответствует увеличение давления p , как это показано на рис. 1 [1, с. 142]. При превышении давлением в напорной гидролинии привода заданной величины происходит разгрузка насоса от работы под давлением. В результате расход рабочей жидкости, поступающей в напорную линию (и далее к гидродвигателям) от насосов, ступенчато уменьшается, и наоборот. Покажем это для простейшего случая, когда для питания гидропривода рабочей жидкостью под давлением используются два нерегулируемых насоса Н1 и Н2 с приводом от общего двигателя (рис. 1). Отметим, что вместо нескольких насосов возможно использование одного многопоточного насоса [1, с. 144].

Промежуток времени t_1 , в течение которого шток гидроцилиндра перемещается на расстояние $z_{кд}$ с соответствующим давлением в напорной линии $p_{кд}$, и промежуток времени t_2 , в течение которого шток гидроцилиндра проходит оставшуюся часть $z_p - z_{кд}$ рабочего хода, составляет [1, с. 145]:

$$t_1 = \frac{Az_{кд}}{Q_{н1} + Q_{н2}}; \quad t_2 = \frac{A(z_p - z_{кд})}{Q_{н1}},$$

где $Q_{н1}$, $Q_{н2}$ – подачи насосов соответственно Н1 и Н2; A – площадь поршня.

Для выполнения рабочего хода штока гидроцилиндра (и, соответственно, рабочей операции гидропривода) за промежуток времени t_{p1} при использовании в качестве источника питания гидропривода одного нерегулируемого насоса, подача Q_n и его мощность $N_{уст1}$ при принятых допущениях должна быть равна [1, с. 142]:

$$Q_n = \frac{Az_p}{t_{p1}}; \quad N_{уст1} = Q_n p_{max} = \frac{Az_p p_{max}}{t_{p1}}; \quad t_{p1} = \frac{Az_p p_{max}}{N_{уст1}},$$

где z_p – длина рабочего хода штока гидроцилиндра; p_{max} – максимальное давление в напорной линии гидропривода, необходимое для преодоления внешней нагрузки на штоке гидроцилиндра во время выполнения рабочей операции.

Продолжительность выполнения рабочей операции t_{p2} при использовании в гидроприводе двух насосов, соединенных в соответствии со схемой, показанной на рис. 1, установочная мощность $N_{уст2}$ гидропривода с двумя насосами со ступенчатым изменением расхода рабочей жидкости равна [1, с. 145]:

$$t_{p2} = A \left[\frac{z_{кд}}{Q_{н1} + Q_{н2}} + \frac{z_p - z_{кд}}{Q_{н1}} \right]; N_{уст2} = (Q_{н1} + Q_{н2}) p_{кд} = Q_{н1} p_{max}.$$

Взаимно разделим последние выражения в предположении, что $t_{p1} = t_{p2}$, а $N_{уст1} = N_{уст2}$. В результате имеем [1, с. 147]:

$$\frac{t_{p2}}{t_{p1}} = \frac{N_{уст1}}{N_{уст2}} = 1 - \left(1 - \frac{p_{кд}}{p_{max}} \right) \frac{z_{кд}}{z_p} = 0,49 = D.$$

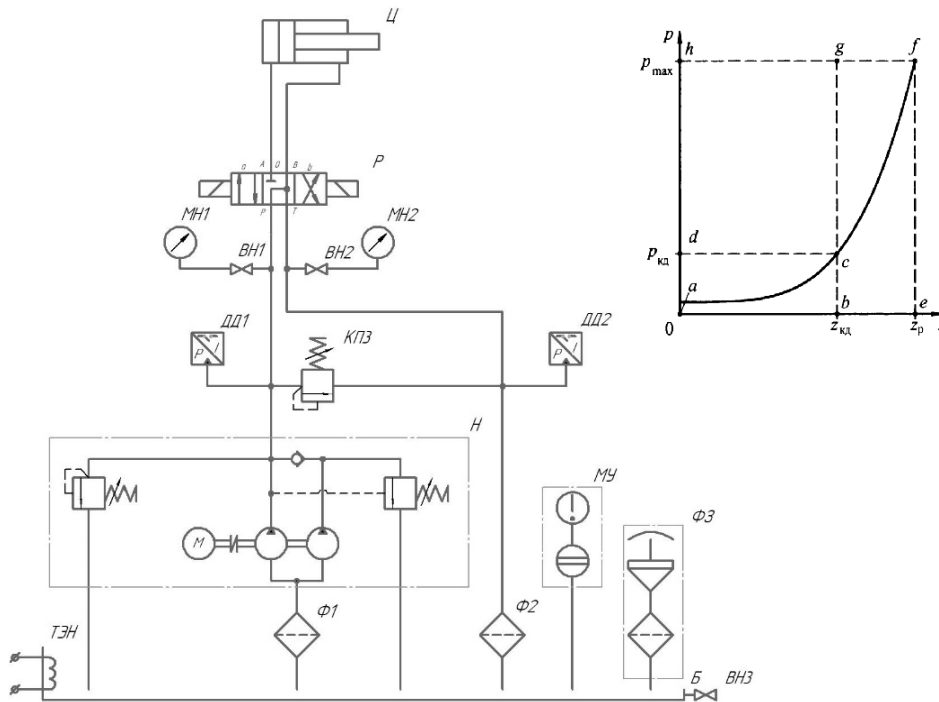


Рис. 1. Гидросхема привода пресса со сдвоенным насосом

Очевидно, что если рассматривать результат деления D как сумму перемещений поршня гидроцилиндра за определенные промежутки времени, то выражения являются справедливыми (в пределах принятых допущений) при любом характере зависимости изменения в напорной линии p от перемещения штока z .

Таким образом, применение в гидроприводе, работающем при переменной нагрузке, вместо одного двух нерегулируемых насосов (с приводом от общего двигателя), один из которых разгружается от давления при превышении давлением в напорной линии гидропривода определенного значения, позволяет при неизменном времени выполнения рабочей операции понизить установочную мощность приводящего двигателя и гидропривода в целом, а при неизменной установочной мощности приводящего двигателя и гидропривода – обеспечить выполнение рабочей операции за меньшее время. Указанный положительный эффект (который увеличивается при увеличении количества ступеней изменения расхода рабочей жидкости, поступающей к гидродвигателю) связан с более рациональным использованием мощности приводящего двигателя при применении разгружаемых от давления насосов: благо-

даря им при пониженных значениях нагрузки на выходном звене гидропривода обеспечивается движение с повышенной скоростью.

Л и т е р а т у р а

1. Гойдо М. Е. Проектирование объемных гидроприводов / М. Е. Гойдо. – М. : Машиностроение, 2009. – 304 с. : ил.

УДК 539

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО–РЕЛЬС»**

Г. П. Тариков¹, Е. М. Акулова²

¹*Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

²*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Взаимодействие колеса и рельса является физической основой движения подвижного состава по железным дорогам. От параметров этого взаимодействия и сопровождающих его явлений во многом зависят безопасность движения и основные технико-экономические показатели железнодорожного пути и подвижного состава.

При решении задачи о контакте колеса с рельсом необходимо определить форму и размеры площадки контакта, а также распределения нормальных контактных напряжений.

Предложен новый способ определения формы и размеров площадки контакта колеса с рельсом с помощью электрического моделирования. Создано электро моделирующее устройство для решения пространственных контактных задач теории упругости. В основу создания электро моделирующего устройства и разработки способа решения пространственных контактных задач с помощью этого устройства положена аналогия, существующая между интегральными уравнениями пространственных контактных задач и задач электростатики. При этом впервые для реализации этой аналогии было применено квазистационарное электрическое поле. При решении поставленных задач изготавливается токопроводящий элемент, который является аналогом площадки контакта. На токопроводящий элемент подаются электрические потенциалы в соответствии с перемещением соответствующих участков площадки контакта. С помощью зонда и измерительного комплекса измеряется плотность заряда в намеченных точках аналога площадки контакта и затем, используя коэффициенты подобия, определяются контактные напряжения в соответствующих точках площадки контакта. Рассмотрены примеры определения площадок контакта при одноточечном и двухточечном контакте колеса с рельсом. На основании экспериментальных результатов построены эпюры контактных напряжений по различным сечениям площадки контакта. Делается вывод о возможности применения электрического моделирования для решения рассматриваемых задач. Результаты решения пространственной контактной задачи в системе «колесо–рельс» могут быть в дальнейшем использованы при определении долговечности колеса и рельса.

УДК 631.3:621.9

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
ОДНОСТУПЕНЧАТЫМ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ****И. И. Суторьма***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Центробежные насосы имеют достаточно широкую область применения в технике, в том числе сельскохозяйственного назначения. Анализ литературных и статистических данных свидетельствует о том, что в последнее время наметилась тенденция использования одновременно как насосов нормального, так и насосов высокого давления. При этом комплектация мобильных машин, как правило, осуществляется комбинированными насосными установками, характерной особенностью которых является наличие двух последовательно включаемых рабочих ступеней: нормального и высокого давления.

Результаты исследований, изложенные в работах [1], [2], дают основания полагать, что современные мобильные машины, на базе которых функционируют насосные установки, имеют существенный резерв мощности, по сравнению с требуемой для обеспечения заданных напора и расхода ступенью нормального давления. Это, в свою очередь, дает возможность реализовать два режима работы с использованием одной единственной ступени.

Целью настоящей работы являлась разработка методики проведения расчетов по установлению общих значений геометрических размеров рабочей полости и рабочего колеса насоса при реализации различных режимов работы на основе обобщения существующих практических методов расчета, приспособленной для многократной реализации в цикле при использовании персонального компьютера и математического пакета прикладных программ MathCAD.

В начале был осуществлен расчет режима нормального давления для насоса ПН-40 таким образом, что все его геометрические размеры соответствовали реальным, а коэффициенты в представленной математической модели удовлетворяли номинальным значениям рабочих параметров: $n = 2700 \text{ мин}^{-1}$; $h = 100 \text{ м}$; $Q = 40 \text{ л/с}$.

Далее исследовалась возможность создания режима высокого давления данным насосом в условиях возможности отбора мощности вплоть до 300 кВт. Получены области значений гидродинамических характеристик, обеспечивающих режимы высокого давления при одинаковых геометрических параметрах рабочего колеса, а именно напор от 2,0 до 4,0 МПа при подаче порядка 0,003–0,005 м³/с.

Литература

1. Суторьма, И. И. Численный эксперимент при исследовании центробежных пожарных насосов / И. И. Суторьма, А. В. Лифанов, Д. М. Скидан // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007. – № 2 (2). – С. 18–27.
2. Суторьма, И. И. Адаптация численного метода решения к математической модели центробежного пожарного насоса / И. И. Суторьма, А. В. Лифанов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2008. – № 1 (3). – С. 90–96.

УДК 631.3

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СФЕРИЧЕСКОГО СОЧЛЕНЕНИЯ ЗАГРУЗОЧНОГО РУКАВА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА

А. В. Голопятин, С. И. Кирилюк

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

Задачей перегрузочного рукава межмодульного транспортирующего устройства зерноуборочного комплекса «Полесье» является бесперебойное обеспечение технологического процесса передачи убираемого продукта от конца выгрузного шнека до приемника очистителя-накопителя прицепленного у УЭС 2-250А.

В транспортирующем устройстве перегрузочный рукав соединяют с выгрузным шнеком посредством шарнирообразного сферического сочленения, образованного сферическим патрубком, закрепленным на конце шнека, и полый усеченной сферической опорой, смонтированной на свободном конце верхнего трубчатого переходника.

При движении КЗР-10, состоящего из нескольких связанных машин, по полю возникают ситуации, когда одна уборочная машина опускается вниз из-за неровности поля, а другая располагается на возвышении. В этом случае благодаря телескопическому соединению обеспечивается надежная и беспрепятственная перегрузка убираемого продукта от одной машины к другой. Сферическое сочленение патрубков также позволяет копировать как продольные, так и поперечные взаимные перемещения машины относительно другой, сохраняя при этом герметичность путепровода.

Одним из наиболее эффективных и экономичных путей решения этой задачи является формирование на рабочих поверхностях трущихся деталей самосмазывающихся антифрикционных покрытий, получивших широкое распространение во многих узлах трения современных машин. Для эффективного использования и нанесения покрытия рассмотрим силы действующие в сочленении (рис. 1).

Анализ проведем в следующей последовательности:

- определение угла α , при котором нижняя часть трубы находится в состоянии равновесия под действием сил трения в сферическом основании;
- расчет контактного давления на поверхности сферической опоры;
- анализ напряженного состояния сферической опоры и определение напряжений в зоне сцепления покрытия с опорой.

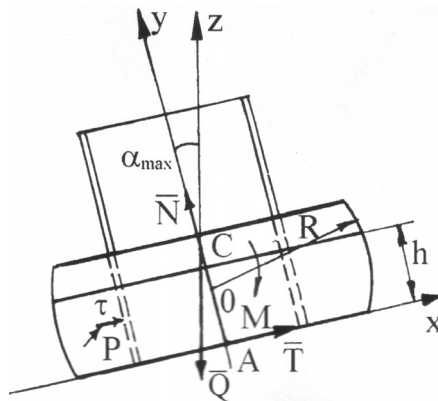


Рис. 1. Схема к статическому расчету блока труб, связывающего молотильно-сепарирующее устройство и очиститель-накопитель КЗР-10

При максимальном угле α_{\max} контактные давления P и интенсивность сил трения τ связаны законом Кулона:

$$\tau = fP, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения в сферической опоре.

Приведем эти силы к точке A основания, находящейся на оси симметрии труб Y . Результирующая сила контактного давления N будет направлена вдоль оси симметрии Y . Результирующая сил трения T будет перпендикулярна к ней и связана соотношением

$$T = fN. \quad (2)$$

При таком приведении сил для равновесия системы совокупность сил должна быть еще приведена и к моменту $M = T \cdot AC$.

Спроектировав силы на ось Y и X , получим:

$$Q \cos \alpha_{\max} = N, \quad Q \sin \alpha_{\max} = T. \quad (3)$$

Разделив второе уравнение (3) на первое, получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{T}{N} \text{ или с учетом (2): } \operatorname{tg} \alpha = f. \quad (4)$$

Таким образом, предельное состояние равновесия конструкции определяется простым соотношением: $\alpha_{\max} = \operatorname{arctg} f$.

Расчет контактного давления. Определим значение контактного давления, действующего в сферической опоре. Для этого вначале определим площадь контакта сферического основания со сферической опорой. Площадь контакта S равна площади сферического пояса: $S = 2\pi R h$. Для комплекса КЗР-10 $S = 2\pi \cdot 0,35 \cdot 0,196 = 0,46 \text{ м}^2$, где $R = 0,35$ м – радиус сферического основания; $h = 0,196$ м – высота пояса.

Помимо веса труб необходимо учитывать инерционные силы, возникающие при движении зерноуборочного комплекса, и суммировать их с величиной веса. Приблизительно инерционные силы могут быть определены исходя из предложения о том, что центр тяжести совершает вертикальные гармоничные колебания: $Z = A \sin \omega t$, где A – амплитуда колебаний ($A = 0,2$ м); $\omega = 2\pi\nu$ (с^{-1}) – круговая частота колебаний.

Поскольку частота колебаний составляет ≈ 1 Гц, $\omega = 2\pi$ (с^{-1}). Реагирующая сил инерции Φ_c , приведенная к центру тяжести трубы C , определяется из выражения

$$\Phi_c = m_n Z_c, \quad (5)$$

где $m_n = 30,21$ кг – масса нижней части блока труб; $Z_c = -A\omega^2 \sin \omega t$ – ускорение центра масс.

Максимальное значение модуля сил инерции $\Phi_{c\max}$ из (5) составит:

$$\Phi_c = m_n A \omega^2 = 23,8 \text{ Н.}$$

Таким образом, на сферическую основу перегрузочного рукава комплекта КЗР-10 действует сумма сил $Q + \Phi_{c\max} = 30,21 \cdot 9,8 + 23,8$ Н.

Нормальная реакция N с учетом силы инерции определяется из соотношения (3):

$$N = (Q + \Phi_{c \max}) \cos \alpha_{\max}. \quad (6)$$

Приняв коэффициент трения в сферической опоре равным 0,2, получаем из (5): $\alpha_{\max} = \arctg 0,2 = 11,3^\circ$. Откуда $\cos \alpha_{\max} = 0,98$ и $N = 313,7$ Н. Контактное давление найдем, разделив силу N на площадь контакта S : $P = N/S = 729,5$ Н/м². Реальное контактное давление P_p может быть оценено с помощью коэффициента динамичности K_d : $P_p = K_d P$. Реальное касательное напряжение τ_p определится как $\tau_p = f \cdot K_d P$.

УДК 527.312:519

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ

А. Н. Чичко, Ю. В. Яцкевич, А. Д. Чорный

*Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск*

Развитие современных вычислительных методов и быстродействующих компьютеров с большой дисковой и оперативной памятью открывает огромные возможности для использования математического моделирования и САЕ-систем (Computer-aided engineering) для проектно-конструкторских работ в машиностроении. Мировой опыт машиностроения показывает, что прорывные технологии иностранных компаний в значительной степени связаны с использованием САЕ-систем, основанных на методах численного моделирования технологий и конструкций. Анализ существующей информации и опыт работы с белорусскими предприятиями дает основание утверждать, что в Республике Беларусь, несмотря на отдельные успехи, имеется существенное отставание как в разработке подобных САЕ-систем, так и в применении их в конструкторских бюро промышленных предприятий. Это снижает эффективность проектно-конструкторских работ, в результате чего сроки разработки техники и уровень ее конкурентоспособности по ряду позиций, в том числе и по качеству, все еще отстает от западных аналогов.

В вузовской и академической науке в течение последних 15 лет активно развивается научно-техническое направление, в основе которого лежит создание методов, алгоритмов и программ для решения конструкторских и технологических задач машиностроения на основе численных методов.

Цель этих работ – создать узкоспециализированные САЕ-системы для решения конструкторских и технологических задач и встроить их в конструкторско-технологическую цепочку. Для реализации этой цели мы планируем следующие этапы:

Этап 1. Выполнение совместных работ по разработке технологии совместно с конструкторами предприятия. Разработка специфических алгоритмов работы конструктора с учетом особенностей данного предприятия.

Этап 2. Разработка первой версии вычислительной САЕ-системы под нужды и задачи конкретного конструкторского бюро предприятия и ее апробация.

Этап 3. Научное сопровождение, доработка и внедрение САЕ-системы в конструкторско-технологической цепочке предприятия.

В связи с этим для промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций мы разрабатываем математическое ядро, в котором заложены численные схемы для расчета движения газов, жидкостей, расплавов в пространственных структурах с учетом охлаждения и нагрева, структурообразования сплавов. В частности, в основе ядра лежат уравнения движения Навье–Стокса, уравнение неразрывности, уравнение энергии или уравнение теплопроводности в трехмерной форме [1]–[9]. Эти уравнения дополняются начальными и граничными условиями, а также клеточно-автоматными уравнениями, которые построены на основе эмпирических уравнений и коэффициентов для привязки процесса к известным промышленным или экспериментальным данным, что позволяет моделировать динамику сложных процессов в любой пространственной конфигурации.

Научно-технический задел реализован в базовых версиях САЕ-систем (ПроЛит-і, ПроТерм-і, ПроНРС-і, ПроХим-і), которые имеют в настоящее время различный уровень завершенности. Отдельные модели математического ядра апробировались в течение последних 15 лет в ходе выполнения научных работ на промышленных предприятиях Республики Беларусь (ОАО «МЗОО», РУП «БМЗ», РУПП «Гранит», ОАО «БЕЛАЗ», ОАО «МАЗ», ОАО «Атлант» и др.).

Разработка отечественных САЕ-систем на рынке позволит предложить белорусским предприятиям специальные САЕ-системы под конкретные задачи, что позволит снизить уровень импортозамещения в Республике Беларусь, повысить конкурентоспособность разрабатываемой техники. Это IT-направление является стратегически важным, так как позволит развивать в республике CALS-инструменты для совершенствования отечественных промышленных технологий. Эти инструменты в дальнейшем можно гибко изменять и совершенствовать под новые технологии и проблемы предприятий, внедряя передовые IT-технологии на белорусских предприятиях. Внедрение САЕ-систем в технологическую цепочку процесса изготовления изделий позволит:

- снизить уровень издержек, временные затраты на подготовку производства изделия;
- повысить качество принимаемых конструкторских и технологических решений;
- получить эффективный инструмент для принятия принципиально новых конструкторских решений.

Литература

1. Чичко, А. Н. Комплекс программных средств «ПРОЛИТ» для моделирования процессов течения и охлаждения расплавов / А. Н. Чичко, В. Ф. Соболев, С. Г. Лихоузов // Програм. продукты и системы (Россия). – 2002. – № 4. – С. 47–48.
2. Чичко, А. Н. Клеточно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме / А. Н. Чичко, С. Г. Лихоузов // Докл. НАН Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 4. – С. 110–114.
3. Программное обеспечение «Пронейролит» для прототипирования литейных технологий / А. Н. Чичко [и др.] // Литье и металлургия. – 2010. – № 1. – С. 76–82.
4. «ПроЛит-1с» программное обеспечение на основе мультипроцессорных технологий для решения задач литейного производства / А. Н. Чичко [и др.] // Информационные технологии программы Союзного государства «Триада»: основные результаты и перспективы : сб. науч. тр. – Минск, 2010. – С. 169–176.
5. Математическое моделирование усадочных процессов стали на основе уравнений Навье–Стокса и Фурье–Кирхгофа / А. Н. Чичко [и др.] // Литье и металлургия. – 2013. – № 1. – С. 70–78.

6. Чичко, А. Н. Трехмерное моделирование напряженного состояния движущегося слитка при изменении граничных условий по температуре / А. Н. Чичко, А. С. Бороздин // Изв. вузов. Энергетика. – 2005. – № 4. – С. 61–67.
7. Чичко, А. Н. Компьютерная система «ПроТерм-1н» для моделирования процессов ступенчатого нагрева стальных слитков / А. Н. Чичко, Н. В. Андрианов, А. С. Бороздин // Сталь. – 2005. – № 11. – С. 66–71.
8. Моделирование процессов нагрева и охлаждения деталей на основе трехмерного уравнения теплопроводности в САЕ «ПроТерм-1» / А. Н. Чичко // Литье и металлургия. – 2012. – № 1. – С. 65–70.
9. Свидетельство о регистрации компьютерной программы «ПроЛит»: 037 / А. Н. Чичко, С. Г. Лихоузов, В. Ф. Соболев, Ю. В. Яцкевич, О. И. Чичко. – № С20080028 ; заявл. 01.10.2008 ; зарег. 03.10.2008.

УДК 527.312:519

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ю. В. Жукова, Т. А. Баранова, А. Д. Чорный

*Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск*

Развитие современных информационных технологий, ориентированных на численное моделирование газодинамических процессов, основывается на стремительном прогрессе компьютерной техники, в частности, персональных компьютеров и на совершенствовании пакетов прикладных программ, в которых реализованы основные принципы вычислительной гидрогазодинамики (Computational Fluid Dynamics – CFD), и в частности, для решения задач машиностроения. Интенсивное – всего лишь в течение нескольких последних десятилетий – развитие программного обеспечения для CFD обязано не только прогрессу компьютерной техники, но и развитию физико-математических моделей (турбулентности, горения, радиационного теплообмена и др.), а также разработке эффективных вычислительных методов. Такие свойства пакетов прикладных программ при решении CFD задач обеспечивают физикам-исследователям получение данных, которые затруднительно получить экспериментально; точность и информативность параметров движущихся сред и процессов, протекающих в них; возможность сравнения экспериментальных и расчетных данных в ходе проведения исследования; реализацию принципов управления выбором решения на каждом этапе моделирования; снижение затрат времени и стоимости исследований.

В настоящее время универсальное и специализированное программное обеспечение представляет собой сложные многокомпонентные системы, написанные, как правило, на объектно-ориентированных языках программирования и имеющие структуру «триады»: пре-процессор с построителем расчетных сеток – солвер – постпроцессор. Программное обеспечение, как правило, включает ряд физико-математических моделей для описания газодинамических процессов, что позволяет осуществить постановку конкретной решаемой задачи.

При дискретизации расчетной области многое зависит от того, насколько удачно вычислитель «угадает» пространственную топологию заполнения всего пространства отдельными ячейками. Очевидно, что чем больше этих ячеек, тем ближе могут быть подобраны значения параметров, определяющих изучаемый процесс.

Однако в задачах гидрогазодинамики имеются такие физические явления, которые не могут быть надлежащим образом учтены одним только измельчением пространства в ходе его дискретизации как ввиду слишком малого масштаба их локализации, так и вследствие изменения их положения в пространстве. К ним относятся явления турбулентности и места вихреобразования в потоках, фронтные или приповерхностные явления, включая явления в пограничном слое, и т. п. Эти явления часто могут оказывать определяющее влияние на крупномасштабные свойства движения среды.

Однако, для уверенности в адекватности применения используемых физических моделей и численных алгоритмов необходимо проводить их верификацию на задачах, имеющих физические аналоги (например, обтекание тела Ахмеда, обтекание и теплоотдача кругового цилиндра и др.) [1], [2].

Современные методы численного моделирования применительно к объектам машиностроения позволяют определять факторы, непосредственно влияющие на взаимодействие объекта (например, автотранспортных средств при их внешнем обтекании, загромождение внутреннего пространства кабины и салона автотранспортных средств) с набегающим потоком [3]–[5], а также проводить апробацию методов снижения сопротивления и интенсификации тепло- и влагопереноса внутри салона [6], [7].

Интенсификация процессов теплообмена и повышение энергетической эффективности устройств, в которых эти процессы протекают, являются лейтмотивом развития конвективных теплообменных аппаратов. Решение вопросов особенно актуально для газовых теплообменников, для которых характерны низкие тепловые потоки. Использование пакетов прикладных программ применительно к элементам теплообменного оборудования позволяет не только разработать, но и апробировать различные методы интенсификации теплообмена [8]–[10].

Литература

1. Чорный, А. Д. Моделирование обтекания модели автобуса / А. Д. Чорный, Т. А. Баранова, Ю. В. Жукова // Модели и методы аэродинамики : материалы 9 Междунар. шк.-семинара, Евпатория, 4–13 июня 2009. – М. : МЦНМО, 2009. – С. 167–168.
2. Численное моделирование нестационарного поперечного обтекания кругового цилиндра при различных числах Рейнольдса / Ю. В. Жукова [и др.] // Докл. АН Беларуси. – 2008. – Т. 52, № 3. – С. 90–95.
3. Исследование аэродинамики прицепного автопоезда / В. А. Бабенко [и др.] // Тепло- и массоперенос 2008 : сб. тр. ИТМО. – Минск : ГНУ ИТМО НАН Беларуси, 2008. – С. 277–281.
4. Моделирование аэродинамики магистрального автопоезда / В. А. Бабенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2010. – № 2 (11). – С. 72–75.
5. Численное моделирование теплообмена при обогреве выхлопными газами кузова грузового автомобиля / Ю. В. Жукова // Труды 5-й Рос. нац. конф. по теплообмену. – М. : Издат. дом МЭИ, 2010. – Т. 2. – С. 129–130.
6. Численный анализ механизма снижения лобового сопротивления катящегося колеса при организации впереди него кругового вихря / Ю. В. Жукова // ИФЖ. – 2008. – Т. 81, № 3. – С. 475–479.
7. Влияние внешних конструктивных элементов на аэродинамику модели автобуса / И. Г. Дударева [и др.] // Тепловые процессы в технике. – 2013. – Т. 5, № 11. – С. 524–528.
8. Вечер, Д. В. Численное моделирование теплообмена в полупроводниковом устройстве с системой охлаждения / Д. В. Вечер, Ю. В. Жукова, Т. А. Баранова // Тепло- и массоперенос 2013 : сб. науч. тр. – С. 24–27.
9. Жукова, Ю. В. Численное моделирование теплообмена при течении теплоносителя в круглой трубе с продольным внутренним оребрением / Ю. В. Жукова, А. Д. Чорный // Тепло- и массоперенос 2014 : сб. науч. тр. – С. 160–164.

10. Конева, Н. С. Применение методов численного моделирования для проектирования элементов гелиотеплотехнической системы / Н. С. Конева, Ю. В. Жукова // Тепло- и массоперенос 2017 : сб. науч. тр. – С. 34–39.

УДК 53.087.4+658.562.6+004.932.4

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО
МИКРОСКОПА**

В. В. Комраков, А. Б. Усатов

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

Современный уровень развития информационных технологий и появление компьютерных высокопроизводительных систем позволяет получать новые результаты при обработке цифровых изображений. В работе рассматривается метод получения объемной модели исследуемого объекта при помощи сравнительно недорогой оптической микроскопии.

Метод построения 3D модели основан на использовании глубины резкости объектива микроскопа для определения высотных характеристик поверхности. При этом на нескольких изображениях поверхности, полученных при различных фокусных расстояниях объектива микроскопа, рассматривают только участки с высокой резкостью. Зная расстояния между изображениями, можно построить морфометрическую карту глубины поверхности.

Определение высоты каждой точки не является одинаково точным, т. е. погрешность позиционирования для всех точек различна. Обусловлено это тем, что метод определения размытости и четкости изображений очень сильно зависит от текстуры поверхности и плохо применим для сравнения четкости различных областей одной фотографии. За определение погрешности позиционирования отвечает метод анализа точности построения объемной модели. Описанный метод учитывает данные не только о четкости, но также высоту позиционирования точки и ее удаленность от основного среза высоты морфометрической карты.

Используя данные о положении точки в пространстве и погрешность ее позиционирования, можно построить результирующую 3D модель. Но так как существует погрешность позиционирования, результирующая модель будет содержать высокочастотные шумы определения высоты точек, что неблагоприятно скажется на ее внешнем виде. Также шумы могут возникать и по другим причинам, например, из-за дефектов потенциального барьера, гамма-коррекции и шума, возникающего вследствие стохастической природы взаимодействия фотонов света с атомами материала фотодиодов сенсора. Для устранения описанной проблемы применяется метод сглаживания зашумленности позиционирования точек по высоте, в результате работы которого и получается твердотельная модель поверхности образца с выровненной погрешностью позиционирования для всех точек [1].

Для первичного анализа влияния вышеперечисленных факторов, а также определения эффективности работы алгоритмов сглаживания с целью уменьшения зашумленности изображения необходимо провести калибровку микроскопа с определением величин различных видов погрешностей. При калибровке микроскопа устанавливают связь между углом поворота привода настройки фокуса и высотой исследуемых образцов в микрометрах.

Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины является погрешностью t измерения. Абсолютная погрешность измерительного прибора – разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины:

$$\Delta_{\text{пр}} = X_N - X_d, \quad (1)$$

где X_N – величина, измеренная прибором; X_d – действительная величина.

Относительная погрешность измерительного прибора – отношение абсолютной погрешности прибора к действительному или измеренному значению величины, выраженное в процентах:

$$\partial = \left(\frac{\Delta_{\text{пр}}}{X_d} \right) 100 \% \approx \left(\frac{\Delta_{\text{пр}}}{X_N} \right) 100 \%. \quad (2)$$

Значение относительной погрешности зависит от значения измеряемой величины, при постоянной величине $\Delta_{\text{пр}}$ она возрастает с уменьшением X_N . Поэтому максимальная точность измерений обеспечивается, когда показание прибора находится во второй половине диапазона измерений. Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности прибора. Допускаемой погрешностью считается погрешность прибора, при которой он может быть признан годным и допущен к применению [2].

Для сравнительной оценки точности измерительных устройств пользуются понятием приведенной погрешности прибора, под которым понимают отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению шкалы, выраженное в процентах:

$$Y_{\text{пр}} = \left(\frac{\Delta_{\text{пр}}}{X_N} \right) 100 \%. \quad (3)$$

В качестве X_N чаще всего используют конечное значение диапазона измерений. Погрешность, свойственная измерительному прибору при его эксплуатации в нормальных условиях, называется основной погрешностью. Для большинства средств измерений нормальными условиями эксплуатации считаются следующие: температура окружающей среды 20 ± 5 °С, относительная влажность 65 ± 15 %, напряжение питания $220 \text{ В} \pm 10$ % с частотой 50 ± 1 Гц. При отклонении условий эксплуатации от нормальных появляются дополнительные погрешности.

Определение погрешностей измерений проводится для изображений различных видов поверхностей, полученных на разных моделях оптических микроскопов с целью выявления и последующей настройки параметров, необходимых для реконструкции исследуемой поверхности с максимальной достоверностью.

Литература

1. Jain, A. K. Fundamentals of Digital Image Processing / A. K. Jain // Prentice-Hall, Inc., NY, 1989. – P. 45–48.
2. Limb, J. O. Distortion Criteria of the Human Viewer. IEEE Transactions on Systems / J. O. Limb // Man and Cybernetics. – December, 1979. – Vol. 9, № 12. – P. 778–793.

УМЕНЬШЕНИЕ МИКРОВОЛНИСТОСТИ НА КОЛЬЦАХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ РАЗЛИЧНЫХ СМАЗОК

В. А. Голубева, И. В. Петров, Н. В. Грунтович

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

Последние 15 лет на предприятия Республики Беларусь поступают подшипники качения низкого качества, что в свою очередь стимулирует крупных потребителей устанавливать специальные диагностические стенды для входного контроля. Проведенные исследования на диагностическом стенде (частота вращения 24,4 Гц) показали, что 30 % дефектов подшипников качения имеют высокий уровень вибрации в диапазоне частот 5–500 Гц, а 60–70 % – в диапазоне частот 1000–5000 Гц. Высокая область частот повышенной вибрации вызвана:

- 1) наличием микроволнистости новых подшипников качения (низкий класс точности обработки колец и тел качения);
- 2) наличием микрораковин, возникающих в процессе эксплуатации;
- 3) задирами, которые появляются вследствие скольжения при плохой смазке;
- 4) наклепами (выбоинами) на наружном кольце, если внутреннее кольцо подшипника ставится на вал без натяга и наружное кольцо не проворачивается в подшипниковом щите [1], [2].

Впервые была предпринята попытка по уменьшению влияния микроволнистости поверхности колец подшипников качения на уровень их вибрации и срок службы, используя различные смазки.

Методика проведения эксперимента включала несколько этапов:

- 1) удаление заводской смазки;
- 2) подготовка смеси, состоящей из глицерина с добавлением мелкодисперсного абразивного вещества (5–10 мкм);
- 3) с помощью пипетки окружность колец подшипника качения промазывалась смесью в нескольких местах;
- 4) создавалась равномерная нагрузка около 1 кг;
- 5) обеспечивалась частота вращения внутреннего кольца 24,4 Гц на протяжении 25–30 мин, при этом каждые 360° наружное кольцо перемещалось по отношению к внутреннему;
- 6) по истечении этого времени подшипник качения промывался от глицерина с абразивным порошком;
- 7) закладывалась смазка OI MOL KSC WR2–2;
- 8) снова создавалась равномерная нагрузка (около 1 кг) и обеспечивалась частота вращения внутреннего кольца на 25–30 мин.

Имели место и неудачные попытки проведения эксперимента, пока не была отработана технология.

На рис. 1 представлены спектры вибраций подшипника качения № 409.

Высокий уровень вибрации в области 1000–5000 Гц до обработки (восстановления) подшипника свидетельствует о наличии микроволнистости колец. После обработки и замены смазки наблюдается уменьшение вибрации в рассматриваемой области.

Таким образом, при помощи различных смазок и данной методики обработки можно уменьшить микроволнистость на кольцах, тем самым увеличивая срок эксплуатации подшипника качения.

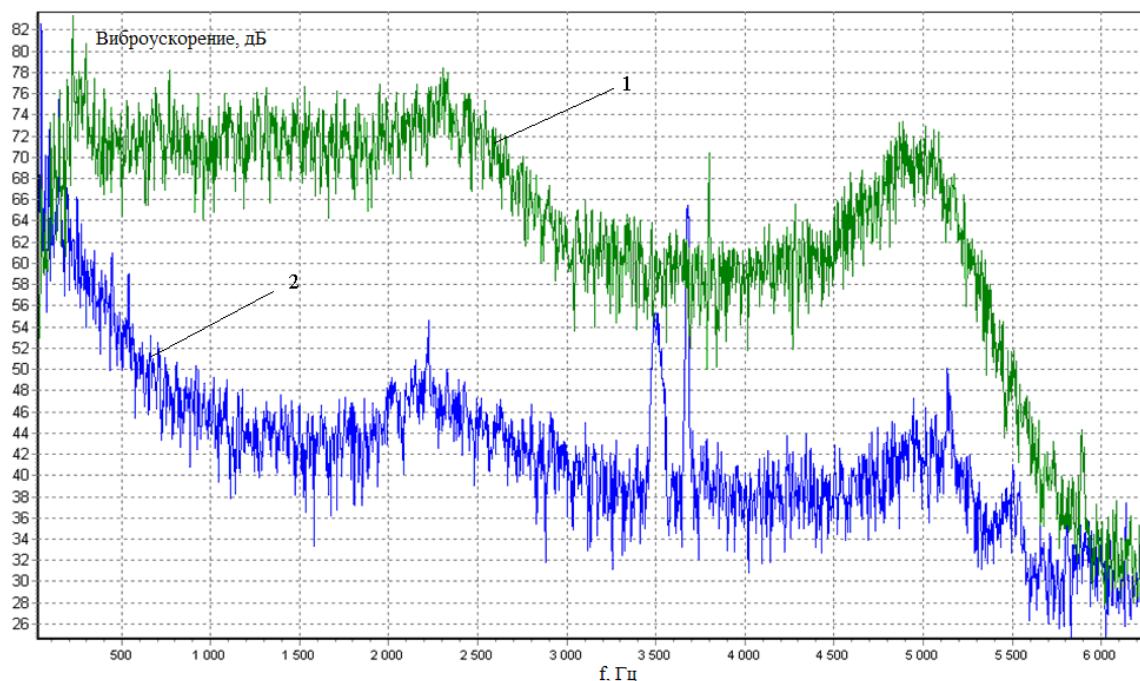


Рис. 1. Вибродиагностирование:
 1 – подшипник № 409 до обработки (восстановления);
 2 – после обработки ($t = 25$ мин) и смазки OI MOL KSC WR2

Литература

1. Грунтович, Н. В. Повышение качества подшипников качения перед установкой на рабочий механизм / Н. В. Грунтович, И. В. Петров, Д. В. Кирдищев // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, 2018. – С. 100–102.
2. Грунтович, Н. В. Разработка диагностической модели дизельных форсунок по результатам вибродиагностирования / Н. В. Грунтович, Д. В. Кирдищев, В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2017. – № 2. – С. 18–24.

УДК 539.375

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛАСТОМЕРНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА

В. Ф. Хиженок, А. С. Фалько, А. И. Столяров

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

Гидравлические амортизаторы для вагонов (поглощающие аппараты автосцепки) различаются по виду дросселируемой рабочей среды и способу создания квазистатической силы сопротивления. Перспективным является использование в качестве рабочей среды полимерных эластомеров, сжимаемость которых в замкнутом объеме

достигает 15 %. Уникальная комбинация свойств силиконового эластомера позволяет одновременно реализовать функции демпфирования и упругого элемента амортизатора. Однако препятствием внедрению эластомерных поглощающих аппаратов (ПА) является вопрос надежности указанных изделий. Из-за высоких осевых усилий в автоцепке при соударении выгонов давление в рабочей камере аппарата достигает 500 МПа, а напряжения в стенках достигают предела текучести высокопрочных сталей 38ХС, 40ХС. Объем аппарата и толщина стенок гидроцилиндра лимитированы размером автоцепки, что накладывает жесткие ограничения на возможности геометрической оптимизации. Таким образом, совершенствование конструкции ПА в значительной степени определяется комплексным рациональным выбором состава эластомера, диаметра дросселирующего отверстия и других конструктивных параметров аппарата, при котором обеспечивается его работоспособность.

Целью данной работы было исследование напряженно-деформированного состояния эластомерного поглощающего аппарата. Расчет напряжений и деформаций проводили с помощью метода конечных элементов, течения рабочей среды – конечных объемов.

На рис. 1 показана конструкция ПА, в поршне которого 3 выполнены три дроссельных криволинейных отверстия диаметром 7 мм. На внутренней поверхности плунжера 1 предложены три направляющие 2, которые ограничивают возможный поворот поршня со штоком, вызванный наличием тангенциальной составляющей потока эластомера.

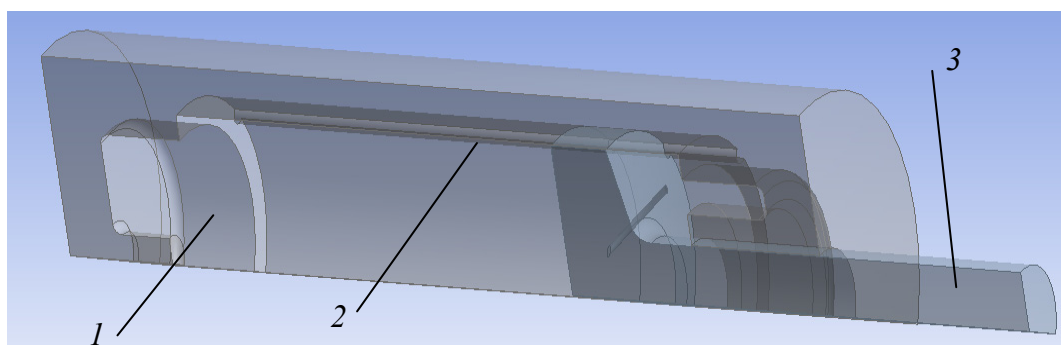


Рис. 1. Физическая модель ПА:
1 – плунжер; 2 – направляющая; 3 – поршень

Материал элементов поглощающего аппарата: плунжера, штока и крышек – сталь 40ХС. Физико-механические свойства стали 40ХС: модуль упругости $E = 2,19 \cdot 10^5$ МПа; плотность $\rho = 7740$ кг/м³; предел прочности $\sigma_b = 1220$ – 1670 МПа, условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 1080$ МПа.

Свойства эластомера были приняты следующими: плотность $\rho = 1200$ кг/м³; динамическая вязкость $\mu_0 = 3000$ Па · с [1].

Для определения динамической вязкости была принята реологическая модель Кросса [2]:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + (\lambda \dot{\gamma})^n},$$

где λ – параметр, имеющий размерность время, $\lambda = 0,3$ с; n – показатель степени, $n = 0,7$.

В таблице приведены значения силы на штоке при скоростях его перемещения 0,5 м/с, 1 м/с и 2,78 м/с.

Таблица 1

Расчетное значение силы на штоке

Скорость перемещения штока, м/с	Сила на штоке, МН
0,5	0,798
1	1,379
2,78	3,1

Полученные значения силы закрытия ПА укладываются в нормативные показатели.

На рис. 2 показаны линии тока эластомера в камере ПА; на рис. 3 распределение эквивалентных напряжений по Мизесу в плунжере (рис. 3, а) и поршне со штоком (рис. 3, б).

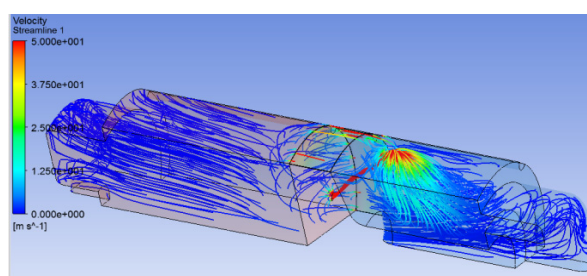


Рис. 2. Линии тока эластомера в камере ПА, м/с

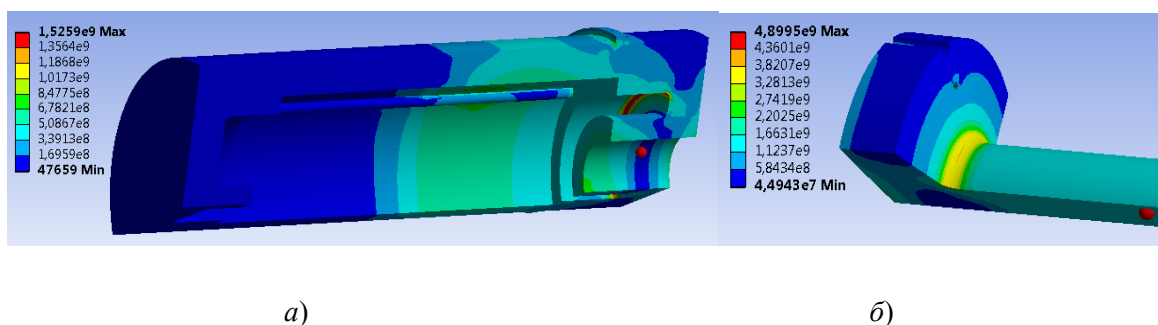


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу, МПа:
а – в плунжере; б – в поршне

Установлено, что условие прочности основных деталей конструкции (плунжера и штока) в целом обеспечивается. Наибольшие эквивалентные напряжения в плунжере составляют 800 МПа, в штоке – 1600 МПа, что меньше допускаемого напряжения $[\sigma_b]$ материала, используемого при изготовлении плунжера. Уровень локальных напряжений в крышке ПА существующей конструкции достигает 1525 МПа. Из рис. 3, б видно, что наибольшие напряжения локализованы в месте перехода «поршень–шток».

Значение продольной силы 3,1 МН позволяет сделать вывод о том, что ПА предлагаемой конструкции обеспечивает эффективную амортизацию продольных усилий при соударении груженых вагонов со скоростями до 2,78 м/с.

Л и т е р а т у р а

1. Приемочные испытания поглощающего аппарата класса Т2 ПМКЭ-110 / Б. Г. Кеглин [и др.] // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 4 (16). – С. 50–58.
2. Матвеевко, В. Н. Вязкость и структура дисперсных систем / В. Н. Матвеевко, Е. А. Кирсанов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2011. – Т. 52, № 4. – С. 243–276.

УДК 658.512.011.56

**ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ**

В. С. Мурашко, А. Д. Мельникова

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

Целью данной работы является разработка программного средства для прогноза изменения температуры в зоне резания.

В работах [1], [2] была предложена методика получения многофакторной математической модели, характеризующей зависимость температуры резания от скорости, подачи и глубины резания средствами Microsoft Excel.

В качестве плана эксперимента предлагалось использовать центральный композиционный ротатбельный план второго порядка [1]–[4].

Недостатком предложенной методики является возможность случайно удалить ячейку с формулой в Microsoft Excel.

Была поставлена задача отделить реализацию алгоритма проведения полнофакторного эксперимента [1] от интерфейса, т. е. оставить за пользователем только возможность ввода исходных и экспериментальных данных.

Инструментарием разработки приложения был выбран Lazarus – открытая среда разработки программного обеспечения на языке Object Pascal для компилятора Free Pascal.

На рис. 1 представлено главное окно разработанного приложения.

Пользователю необходимо ввести исходные данные, затем нажать на кнопку «Показать рабочую таблицу», ввести полученные экспериментальные данные и нажать на кнопку «Расчет коэффициентов регрессии» (1):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (1)$$

В результате будет выведена таблица: первая строка – коэффициенты регрессии, вторая строка – значимость коэффициентов, а третья – коэффициенты математической модели температуры в зоне резания (2):

$$T = \beta_0 \cdot v^{\beta_1 + \beta_{12} \ln s + \beta_{13} \ln t + \beta_{11} \ln v} \cdot s^{\beta_2 + \beta_{23} \ln t + \beta_{22} \ln s} \cdot t^{\beta_3 + \beta_{33} \ln t}. \quad (2)$$

А затем в окне отобразится математическая модель, составленная из значимых коэффициентов регрессии, а также математическая модель изменения температуры в зоне резания.

Для прогноза изменения температуры в зоне резания по полученной математической модели (2) пользователь может нажать одну из трех кнопок: «Построение графика $T(t)$, при фиксированных s, v », «Построение графика $T(v)$, при фиксированных s, t », «Построение графика $T(s)$, при фиксированных t, v ». После нажатия выбранного типа графика, открывается новое окно (рис. 2), где пользователь фиксирует два фактора, а третьему задает диапазон изменения, затем, нажав на кнопку «Построить», получает соответствующий график. Эти действия пользователь может повторять многократно. Здесь же есть кнопка «Сохранить», которая позволяет сохранить построенный график в формате *.bmp.

Для отладки программного средства были взяты результаты проведения эксперимента изменения температуры от скорости, подачи и глубины резания при обработке точением стали 20 цельными проходными резцами из быстрорежущей стали P18 [4].

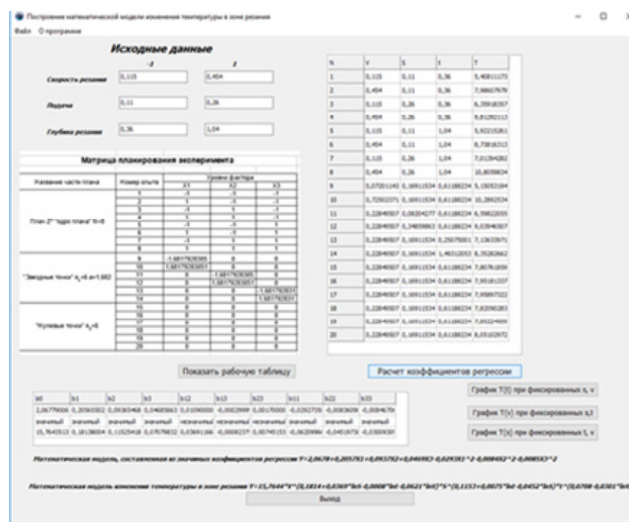


Рис. 1. Главное окно приложения

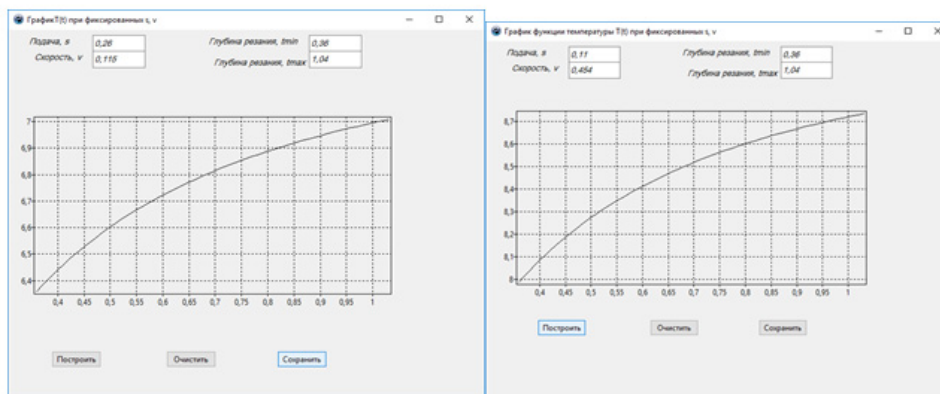


Рис. 2. Окно для прогноза изменения температуры при фиксированных s, v

Литература

1. Мельникова, А. Д. Многофакторная математическая модель элементов технологических процессов / А. Д. Мельникова // Исследования и разработки в области машиностроения,

- энергетики 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. – С. 519–522.
2. Мельникова, А. Д. Получение математической модели изменения температуры в зоне резания / А. Д. Мельникова // Молодые исследователи – регионам : материалы Междунар. науч. конф., Вологда, 18–19 апр. 2017 г. : в 4 т. / М-во образ. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т ; отв. ред. А. А. Сеницын. – Вологда : ВоГУ, 2017. – Т. 1. – С. 42–44.
 3. Пучков, А. А. Применение теории планирования эксперимента для математического моделирования элементов технологических процессов / А. А. Пучков, С. А. Щербаков. – Гомель : ГПИ, 1993. – 72 с.
 4. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

УДК 674.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

В. В. Пинчук, Н. В. Иноземцева

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

В настоящее время в мире все большее внимание уделяется повышению экологической безопасности бытового топлива. В связи с этим брикеты из деревянных опилок, полученные без дополнительных связующих, находят все большее применение. Полученный в результате брикетирования топливный материал благодаря своим высоким потребительским свойствам находит широкое применение как в домашнем хозяйстве, так и в промышленных отопительных системах. Брикетированные древесные отходы, полученные без дополнительных связующих, являются реальной альтернативой традиционным видам топлива как по своим теплотворным характеристикам, так и по экологическим параметрам.

Технология брикетирования древесной стружки заключается в получении брикетов - нормированных спрессованных изделий цилиндрической формы.

Широкое использование топливных брикетов требует создания новых производств по выпуску специализированных прессов для брикетирования.

В ГГТУ им. П. О. Сухого был разработан пресс ПРО-60, предназначенный для спрессовывания мелких древесных отходов хвойных и лиственных пород деревьев в компактные, экономящие место брикеты, которые могут быть использованы для отопления жилых, общественных и производственных помещений (рис. 1).

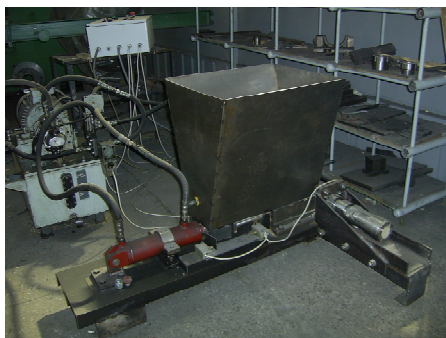


Рис. 1. Общий вид пресса ПРО-60

В литературе отсутствуют систематизированные данные о выборе параметров процесса брикетирования, позволяющие обоснованно разрабатывать технологию брикетирования [1]–[4]. Основными параметрами, влияющими на свойства брикетов из древесных опилок, являются давление прессования, влажность прессуемого материала (опилок) и температура. Поэтому задачами данного исследования являются:

- получение зависимости плотности брикета от давления прессования, влажности и температуры опилок при работе пресса ПРО-60;
- выбор рационального режима работы пресса, обеспечивающего изготовление топливных брикетов приемлемого качества (с плотностью не ниже 700 кг/м³ и наружной поверхностью без трещин и разрушений).

При разработке технологических режимов процесса брикетирования опилок необходимо учитывать изменение физико-механических свойств получаемых древесных брикетов при изменении температуры, влажности опилок и давления прессования.

Термопарой измерялась температура нагрева древесных опилок в формующем канале пресса ПРО-60 при его работе. Давление в формующем канале пресса ПРО-60 было определено расчетным путем при помощи показаний манометра гидростанции и составило от 30 до 80 МПа. Влагомером измерялась влажность брикетов.

Давление в формующем канале пресса ПРО-60 определялось по формуле

$$P = \frac{S_{ц}}{S_{п}} P_{мн}, \quad (1)$$

где $P_{мн}$ – показания манометра в момент прессования; $S_{ц}$ – площадь поперечного сечения поршня гидроцилиндра; $S_{п}$ – площадь поперечного сечения плунжера.

На рис. 1 представлены значения плотности брикета в зависимости от давления прессования и температуры.

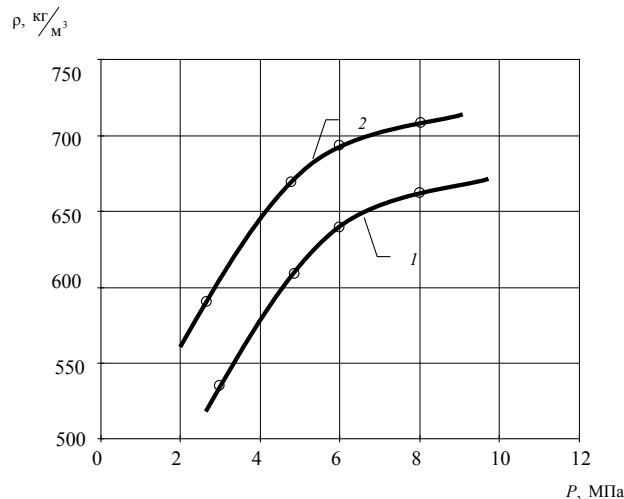


Рис. 1. График зависимости плотности брикетов от давления прессования:
 1 – при температуре исходного сырья 100 °С;
 2 – при температуре исходного сырья 250 °С

Из графика видно, что повышение давления в диапазоне от 3 до 8 МПа приводит к незначительному росту плотности. Для получения топливных брикетов с приемлемым качеством (с показателем плотности не менее 700 кг/м^3 и влажностью не более 20 %) необходимо обеспечивать нагрев опилок в формующем канале свыше $80 \text{ }^\circ\text{C}$, иметь давление прессования не менее 8 МПа и температуру исходного сырья не менее $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Брикет, полученные при более низких температурах, существенно расширяются при хранении. При этом на поверхности образца образуются трещины, проходящие перпендикулярно направлению прессования. Прочность брикета резко снижается.

Таким образом, был определен рациональный технологический режим брикетирования: процент влажности брикетов в пределах от 10 до 20 %, давление прессования не менее 8 МПа, температура сырья не менее $25 \text{ }^\circ\text{C}$. При данных условиях получают брикеты плотностью не ниже 700 кг/м^3 , которые имеют глянцевую гладкую поверхность без трещин и пригодны для длительного хранения.

Литература

1. Вершинин, В. Чистая энергия / В. Вершинин // Леспроминформ. – 2004. – № 5. – С. 66–67.
2. Сангалов, Ю. А. Композиты: дисперсная древесина – термопластичные полимеры как перспективное направление химической технологии переработки древесины / Ю. А. Сангалов, Н. А. Красулина, А. И. Ильцова // Хим. пром-сть. – 2002. – № 3. – С. 1–9.
3. Гомонай, В. М. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы : учебник / В. М. Гомонай. – М. : МГУЛ, 2006. – 68 с.
4. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы / А. Г. Трошин [и др]. // Восточ.-Европ. журн. передовых технологий. – 2010. – № 3/8 (45). – С. 36–40.

УДК 681.518.54:62-83

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И БЕЗОТКАЗНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОНТРОЛЯ НА ДИАГНОСТИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

И. В. Петров

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

Одним из наиболее ответственных узлов практически любого роторного механизма является подшипник. Внезапный его выход из строя может стать причиной нарушения технологического процесса, что может повлечь за собой значительные экономические потери и привести к серьезным разрушениям и простоям. Для корректного выявления дефектов новых и уже используемых подшипников перед их установкой на механизм, либо при ремонте промышленного оборудования целесообразно использовать стенды для проведения вибродиагностирования подшипников, позволяющие выполнить отбраковку некачественных изделий до операций сборки подшипниковых узлов механического оборудования. Это дает возможность исключить внеплановые простои технологического оборудования, аварийные ситуации и увеличить межремонтный период.

На рис. 1 представлен вид стенда для проведения вибродиагностирования подшипников качения.

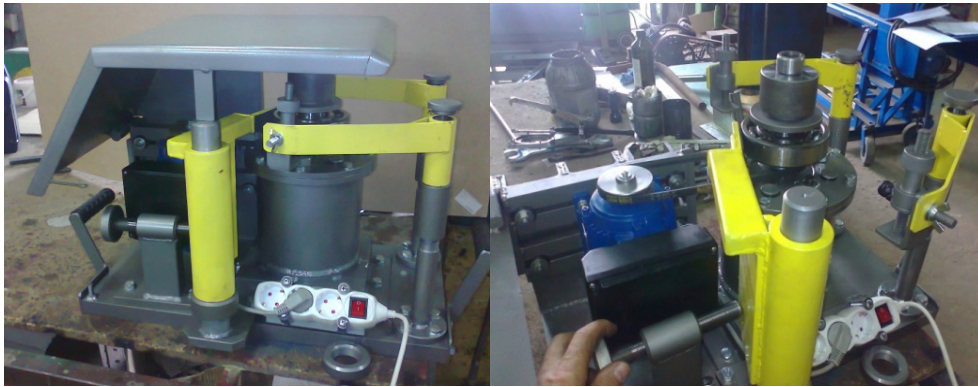


Рис. 1. Стенд для вибродиагностирования подшипников качения

Проведенный анализ показал низкое качество поступающих на рынок новых подшипников качения. Основные причины такого низкого качества следующие:

- износ станочного оборудования на подшипниковых заводах;
- низкое качество подшипниковой стали.

Как показали испытания на стенде, даже подшипники отечественного и импортного производства с высоким классом точности имеют дефекты, которые могут повлиять на эксплуатацию оборудования.

Использование диагностических стендов для вибродиагностирования на предприятиях позволит эффективно и оперативно отбраковывать некачественные подшипники и использовать на производстве только те, которые отвечают установленным требованиям.

Стенд состоит из приводной установки и измерительного модуля. Приводная установка позволяет при заданной частоте вращения и выбранной радиальной или осевой нагрузке проводить измерения виброакустических характеристик подшипников. Измерительный модуль проводит анализ вибрации исследуемого подшипника, качественную и количественную оценку состояния исследуемого подшипника. Например, на рис. 2 показан спектр вибрации подшипника качения, полученный на диагностическом стенде перед его установкой на механизм.

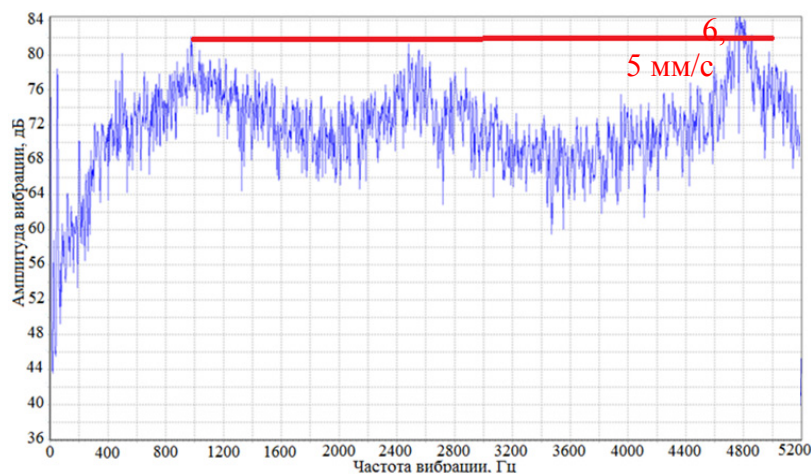


Рис. 2. Спектр вибрации подшипника качения 318 в области частот от 0 до 5000 Гц

Из спектра на рис. 2 следует, что из-за множества микропиков уровень вибрации подшипника качения 318 в диапазоне частот 1000–5000 Гц предельный. Подшипник не пригоден к эксплуатации без предварительной замены смазки.

Таким образом, проведенные эксперименты по вибродиагностированию новых и изношенных подшипников качения производства заводов Беларуси, России и зарубежных стран показали целесообразность проведения контроля подшипников качения на диагностическом стенде на предприятиях перед установкой их на рабочие механизмы.

Литература

1. Грунтович, Н. В. Гипоциклоида частоты вибрации подшипников качения / Н. В. Грунтович, И. В. Петров, Д. В. Кирдищев // Международная конференция с элементами научной школы, 25–27 апр. 2016 г., Тамбов, Тамбов. гос. аграр. ун-т. – Тамбов, 2016. – С. 84.
2. Петров, И. В. Комплексное техническое диагностирование электрических двигателей / И. В. Петров // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2018. – № 3. – С. 57–65.

УДК 681.518

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ В ИССЛЕДОВАНИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

А. М. Панфилов, И. В. Петров, Н. В. Грунтович

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

Подшипник качения является наиболее распространенным элементом конструкции электрической машины и является одним из важных элементов, от которого зависит работоспособность и долговечность электрооборудования. Для электрических машин, которые устанавливаются на горизонтальных лапах, кроме частотного спектра вибрации при большом износе подшипников качения, характерна вибрация с частотой опрокидывания вала ротора. В момент, когда центр одного из опорных тел качения совпадает с линией действия веса или статической силы, вал теряет устойчивость.

Причина разрушения подшипника может быть разнообразной, а главное, что разрушение может произойти внезапно, без появления существенных признаков отказа работы электрооборудования. Такие неполадки приводят к аварийным остановкам оборудования, да и всего технологического процесса, что влечет за собой материальный ущерб, массовый брак в производимой продукции, сбой в сложном технологическом процессе, простои персонала, машин и механизмов. Поэтому вопрос ранней диагностики подшипников качения методами без разборного контроля позволит своевременно решить задачи выхода из строя электрооборудования и технологической системы в целом.

Программа «Таямніца-2» предназначена для автоматизации дефектоскопии по полученным в стороннем программном обеспечении спектрам вибраций. Программа «Таямніца-2» позволяет хранить и управлять банками данных параметров диагностируемого оборудования – асинхронных двигателей, подшипников качения, насосов, двухступенчатых редукторов. По параметрам оборудования программа «Таямніца-2» позволяет рассчитать диагностические частоты, соответствующие определенным дефектам, определить уровень дефекта и сформировать диагностическую таблицу по дефектам, имеющимся у обследованного оборудования. Результаты

диагностирования сводятся в отдельный электронный документ в формате электронной таблицы.

Для работы с программой «Таямница-2» пользователь должен обладать навыками работы в операционной системе Microsoft Windows, иметь представление о работе с базами данных, обладать необходимой технической компетенцией в области вибрационной диагностики.

Внешний вид программы «Таямница-2» представлен на рис. 1. Все функции программы доступны через соответствующие кнопки. Кнопки сгруппированы по назначению.

После того, как тип диагностируемого оборудования будет выбран, программа переходит в банк данных и после нажатия кнопки «Выбрать для диагностики», программа автоматически рассчитает и выведет на экран форму с диагностической моделью оборудования (рис. 2).

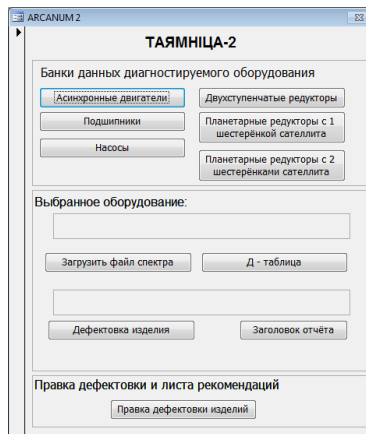


Рис. 1. Интерфейс программы «Таямница-2»

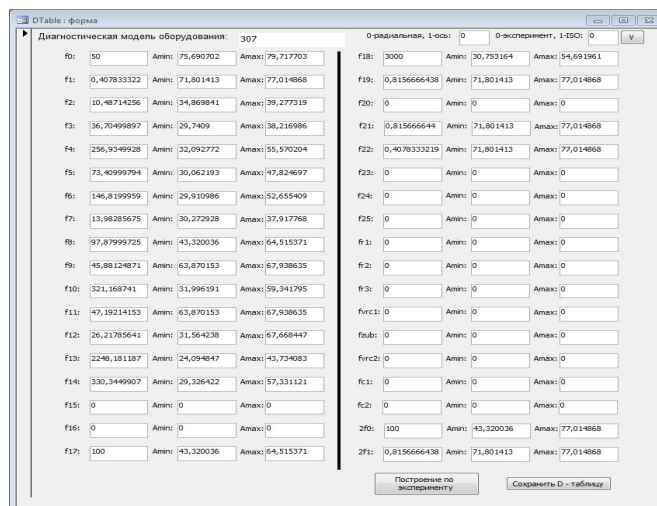


Рис. 2. Вид формы с диагностической моделью оборудования

86 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

Далее, как только диагностическая таблица заполнена и сохранена в базе, либо выбрана из базы, можно провести дефектовку изделия по имеющемуся файлу со спектром вибраций. Для этого необходимо нажать на главной форме Программы кнопку «Загрузить файл спектра» и выбрать в файловом диалоге необходимый файл.

Для получения отчета по дефектовке изделия необходимо нажать кнопку «Дефектовка изделия». После обработки данных программа предложит сохранить файл. Файл отчета сохраняется в виде документа электронной таблицы Excel (рис. 3).

Номер	Частота	A_мин	A_тек	A_макс	Износ	Дефект	Степень риска	Рекомендации
0	0,408	71,801	76,760	77,015	Максимальный	Нарушение балансировки	0,951	
1	10,487	34,870	36,551	39,277	Нормальный	Дефект сепаратора	0,381	
2	36,705	29,741	36,648	38,217	Максимальный	Дефект тел качения	0,815	
3	256,935	32,093	55,570	55,570	Максимальный	Дефект тел качения	1,000	
4	73,410	30,062	44,090	47,825	Максимальный	Раковины на НК; неравномерность зазоров между кольцами и телами качения	0,790	
5	146,820	29,911	43,369	52,655	Средний	Перекося наружного кольца	0,592	
6	13,983	30,273	33,528	37,918	Нормальный	Дефекты внутреннего кольца	0,426	
7	97,880	43,320	61,000	64,515	Максимальный	Дефекты внутреннего кольца	0,834	
8	45,881	63,870	67,780	67,939	Максимальный	Дефекты внутреннего кольца	0,961	
9	321,169	31,996	56,484	59,342	Максимальный	Дефекты внутреннего кольца	0,896	
10	47,192	63,870	67,780	67,939	Максимальный	Дефекты сепаратора	0,961	
11	26,218	31,564	59,327	67,668	Максимальный	Дефекты сепаратора	0,769	
12	2248,181	24,095	32,425	43,734	Нормальный	Дефекты сепаратора	0,424	
13	330,345	29,326	50,283	57,331	Средний	Дефекты сепаратора	0,748	
14	0,816	71,801	76,760	77,015	Максимальный	Овальность внутреннего кольца	0,951	

Диагностирование выполнено программой Таямніца2 14.10.2015 23:29:56

Рис. 3. Вид файла отчета

Диагностический осмотр оборудования с вращающимися элементами при помощи компьютерной программы «Таямніца-2» имеет много преимуществ:

Программа позволяет сформировать уникальную запись с параметрами оборудования и в любой момент обратиться к ней, и получить диагностическую модель.

По сформированной диагностической модели программа позволяет обработать входной файл со спектром вибраций и сформировать отчет по дефектам исследуемого оборудования.

Литература

1. Грунтович, Н. В. Способы вибродиагностирования роторных механизмов / Н. В. Грунтович, И. В. Петров // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 4 (8). – С. 40–50.
2. Грунтович, Н. В. Помехи при вибродиагностировании трансформаторов / Н. В. Грунтович, А. А. Алферов, П. М. Колесников // Актуальные вопросы эксплуатации современных систем энергообеспечения и природоиспользования : сб. – 2015. – С. 65–66.

УДК 62-229.316.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СИЛЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

С. А. Щербаков

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

Методики, посвященные данному вопросу, в учебниках и справочниках предлагают искать решение из условия равновесия заготовки под действием сдвигающих сил и моментов. Складывается впечатление, что всегда решение можно найти, составив систему (1) из шести линейных уравнений, задающих условия неподвижности заготовки:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum P_{iz} = 0; \\ \sum P_{iy} = 0; \\ \sum P_{ix} = 0; \\ \sum M_{iz} = 0; \\ \sum M_{iy} = 0; \\ \sum M_{ix} = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где P_{iz}, P_{iy}, P_{ix} – соответствующие проекции сил на оси расчетной системы координат; M_{iz}, M_{iy}, M_{ix} – моменты всех сил относительно соответствующих осей расчетной системы координат.

То есть применить теорему Пуансо о возможности приведения любой системы сил в равновесие приложением одной силы и одного момента. Система шести линейных уравнений (1) позволяет определить только шесть неизвестных, а это количество реакций основных опор при полном базировании. Но в реальных задачах по определению сил закрепления заготовки кроме шести реакций главный интерес вызывают одна или несколько сил закрепления. Решений в них обычно бесконечно много, как из-за того, что число неизвестных превышает число уравнений, так и по другим причинам. На практике часто возникают задачи многократного поиска оптимального решения из множества допустимых, для решения которых не найти рекомендаций ни в учебниках, ни в справочниках.

Предлагаем следующие рекомендации:

1. На основании схемы установки заготовки на операционном эскизе изобразить схему сил, действующих на заготовку при обработке для «наихудшего» случая сочетания силовых и размерных факторов, приводящего к нарушению ее неподвижности. Направления внешних (сдвигающих) сил (резания, инерции, силы тяжести) на заготовку принимают для «наихудшего» случая обеспечения ее неподвижности. Такой случай может быть неочевидным однозначно. Тогда рассматривают несколько и выбирают «наихудший». В схеме сил, действующих на заготовку, направления реакций от опор выбирают перпендикулярно базовым поверхностям заготовки. Направления сил закрепления выбирают перпендикулярно поверхностям заготовки, выбранным для закрепления. Направления сил трения выбирают так, чтобы они были перпендикулярны соответствующим реакциям и силам закрепления и противо-

действовали бы смещению заготовки, для «наихудшего» случая обеспечения ее неподвижности.

2. Определить максимально допустимые точностью обработки значения необходимых сил закрепления заготовки $Q_{\text{MAX}i}$, так как чем больше значения реакций опор и сил закреплений, тем больше деформации и погрешности закрепления обрабатываемых поверхностей. Для операций окончательной обработки, где должна быть обеспечена высокая точность обработки (точнее 8-го качества), определяют допустимые деформации и погрешности закрепления в пределах до $0,3T$ (30 % выдерживаемого допуска). Для операций черновой и промежуточной обработки допустимые деформации и погрешности закрепления могут достигать до $0,5T$ выдерживаемого допуска. По допустимым деформациям и погрешностям закрепления заготовки определяют соответствующие им максимально допустимые силы закрепления заготовки $Q_{\text{MAX}i}$.

3. Не следует искать оптимальную расчетную силу закрепления заготовки на пути формального составления и решения системы шести линейных уравнений (1), так как на практике она часто имеет бесконечное множество решений. А вероятность получить единственное и оптимальное решение невелика.

4. Сравнить схему действующих на заготовку сил со схемами сил, приведенных в справочниках или учебниках, проанализировать совпадения и расхождения этих схем и возможность применения соответствующих формул. Эти действия позволят глубже вникнуть в стоящую проблему, исправить возможные ошибки на схеме сил, понять, как выведена формула, и, возможно, рассчитать необходимую силу закрепления по формуле из справочника, как первое приближение к оптимальному значению.

5. Если схема действующих на заготовку сил не совпадает ни с одной из 22 схем из справочников, не совсем совпадает, или совпадает, но есть сомнения в правильности полученного значения силы закрепления при анализе результата, то следует определять оптимальное решение из множества значений расчетных сил закрепления. Оптимальное решение должно содержать минимальные и достаточные для неподвижности заготовки значения реакций опор и сил закрепления. Это решение следует искать с использованием принципа независимости действия силовых факторов на неподвижную заготовку для одного или нескольких «наихудших» случаев и последующего векторного суммирования результатов раздельного определения расчетных сил закрепления.

Для определения неизвестных значений расчетных сил закрепления и реакций опор следует составить уравнения моментов, в которых сдвигающие факторы создают наибольшие относительно опор моменты, противоположные моментам останавливающих заготовку сил (сил закрепления, трения, реакций опор). При превышении числом неизвестных останавливающих сил количество уравнений моментов, следует присвоить некоторым реакциям, действие которых приводит к увеличению сил закрепления, конкретные значения, например, равные нулю. Универсальной рекомендацией для этого может быть обнуление значений реакций, действие которых может привести к сдвигу заготовки. Реакции опор и силы трения на них должны удерживать заготовку. Если же реакции некоторых опор в уравнениях моментов «помогают» сдвинуть заготовку, то их значения следует обнулить. Возможны случаи, когда заготовку гарантированно удерживают только реакции и силы трения опор, тогда силы закрепления принимают равными нулю, как, например, при протягивании отверстий.

6. Полученные значения и направления реакций опор и расчетных сил закрепления W_i следует проанализировать. Значения результатов в полученном решении могут оказаться противоречащими здравому смыслу. Например, они могут быть отрицательными, т. е. они направлены противоположно направлениям, принятым в схеме силового воздействия на заготовку. Нужно помнить, что большие силы закрепления вызывают большие противодействующие им реакции опор и чрезмерные деформации заготовки. Затем значения расчетных сил закрепления W_i следует умножить на соответствующий условиям обработки коэффициент запаса (K) и сравнить их произведение с Q_{MAX} .

Если $0 \leq W_i K \leq Q_{\text{MAX}}$, то задача решена. В противном случае следует уменьшить значения сдвигающих силовых факторов (изменить режимы обработки для уменьшения сил и моментов резания) и снова выполнить пункты 5 и 6, т. е. повторно определить расчетные и необходимые силы закрепления, удовлетворяющие условиям приведенного выше неравенства.

УДК 62-82:519.711.3

**КОМПОНЕНТЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ПОРШНЯ ГИДРОЦИЛИНДРА ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО
УСТРОЙСТВА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
СРЕДСТВА**

В. Б. Попов

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

Для формирования адекватной динамической модели нагруженного со стороны рычажного механизма (рис. 1) гидропривода ПНУ, важно иметь правильное описание движения поршня гидроцилиндра (ГЦ). При подстановке в уравнение Лагранжа второго рода выражения для кинетической энергии движущейся навесной машины (НМ) или рабочего орудия (РО), считая при этом, что обобщенная сила равна разности между силой, движущей поршень и силами сопротивления движению, после некоторых преобразований получим выражение

$$m(S)\ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm(S)}{dS} \dot{S}^2 = F_{\text{дв}} - [F(S) + F_{\text{тр}}^{\text{мп}}(S)], \quad (1)$$

где S , \dot{S} , \ddot{S} – обобщенная координата (ход поршня), ее скорость и ускорение соответственно; $m(S)$ – приведенная масса; $m'(S)$ – производная от приведенной к штоку ГЦ массы по обобщенной координате; $F_{\text{дв}}$ – движущая сила; $F(S)$ – полезная нагрузка; $F_{\text{тр}}^{\text{мп}}(S)$ – приведенная сила трения.

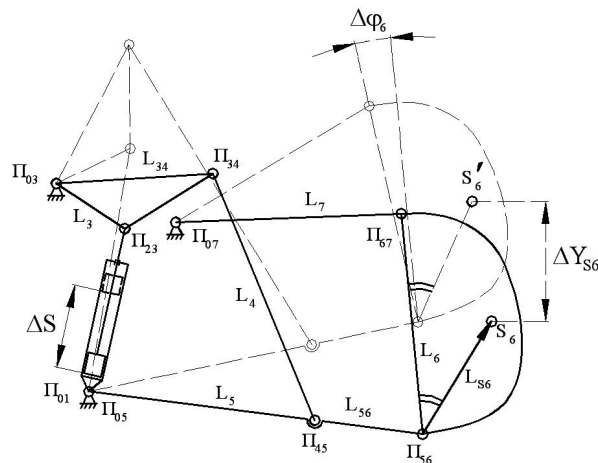


Рис. 1. Схема подъема механизмом навески навесной машины (перевод из рабочего в транспортное положение)

Рассмотрим левую часть уравнения (1), представляющую выражение для приведенной к штоку ГЦ силы инерции. Оно состоит из двух компонент: первая – известная всем, определяемая по 2-му закону Ньютона, и вторая, возникновение которой связано с изменяющимися в процессе подъема НМ параметрами МН (см. рис. 1). Первая присутствует только на этапе неустановившегося движения поршня, вторая же компонента действует постоянно. Приведенная к штоку ГЦ масса НМ определяется из выражения для кинетической энергии элементов замкнутой кинематической цепи, включающей МН и НМ:

$$m(S) = m_6 I_v^2(S) + J_6 \varphi_6'^2(S), \quad (2)$$

где m_6 , J_6 – соответственно масса и момент инерции НМ (РО); $I_v(S)$ – аналог линейной скорости центра тяжести НМ (РО); $\varphi_6'(S)$ – аналог угловой скорости НМ.

Выражение (2) также состоит из двух компонент: первая характеризует влияние массы НМ, а вторая ее момента инерции. В учебной литературе [1] первая определяется через аналог вертикальной скорости центра тяжести НМ, что справедливо только в случае плоскопараллельного подъема НМ, а стандарт [2] между тем допускает завал стойки $-\Delta\varphi_6$ до 15° (см. рис. 1), вторая компонента не учитывается. Но с появлением тяжелых и объемных адаптеров (КПР-9, КНК-500, КСН-6), агрегируемых с задними ПНУ универсальных энергетических средств (УЭС), выпускаемых ОАО «Гомсельмаш», при ограниченной мощности гидропривода необходим учет, как второй, так и более тщательный анализ влияния первой компоненты.

Аналог угловой скорости НМ представляет собой производную от угла наклона стойки (L_6) по обобщенной координате, связывающий угловые скорости подъемного рычага и НМ (РО), определяемый по выражению [3]:

$$\varphi_6'(S) = \varphi_3'(S) U_{63}(S),$$

где $\varphi_3'(S)$ – аналог угловой скорости поворотного рычага – L_3 ; $U_{63}(S)$ – передаточное отношение угловых скоростей звеньев L_6 и L_3 .

Аналог угловой скорости поворотного рычага определяется по выражению

$$\varphi_3'(S) = \frac{d\varphi_3}{dS} = \frac{2S}{\sqrt{4L_{13}^2L_3^2 - [S^2 - (L_{13}^2 + L_3^2)]^2}},$$

где L_{13} – база четырехзвенника $\Pi_{01}\Pi_{23}\Pi_{03}$ (см. рис. 1).

Передаточное отношение $U_{63}(S)$ определяется в результате кинематического анализа замкнутой кинематической цепи, выполняемого при помощи метода замкнутых векторных контуров [4]:

$$U_{63}(S) = U_{53}(S)U_{65}(S) = \frac{L_{34} \sin[\varphi_{34}(S) - \varphi_4(S)] L_{56} \sin[\varphi_5(S) - \varphi_7(S)]}{L_5 \sin[\varphi_5(S) - \varphi_4(S)] L_6 \sin[\varphi_7(S) - \varphi_6(S)]}.$$

В выражении (2) массы и моменты инерции звеньев МН не учитываются, так как они почти на два порядка меньше соответствующих параметров НМ. Аналог линейной скорости центра тяжести НМ определяется по выражению

$$I_v(S) = \frac{v_{S6}(S)}{\dot{S}},$$

где v_{S6} , \dot{S} – линейная скорость центра тяжести НМ и поршня ГЦ соответственно.

Здесь следует отметить, что поскольку $v_{S6} = \sqrt{\dot{X}_{S6}^2 + \dot{Y}_{S6}^2}$, т. е. всегда $I_v(S) \geq I_{S6}(S)$ [3], постольку определение приведенной массы НМ [1] по выражению $m(S) = m_6 I_{S6}^2(S)$ в случае агрегатирования УЭС с вышеупомянутыми тяжелыми адаптерами некорректно.

Производная от приведенной массы определяется по выражению

$$m'(S) = 2[(m_6 I_v(S) I_v'(S) + J_6 \varphi_6'(S) \varphi_6''(S))], \quad (3)$$

где $I_v'(S)$ – производная от $I_v(S)$ по обобщенной координате; $\varphi_6''(S)$ – аналог углового ускорения НМ.

$$\varphi_6''(S) = [\varphi_6'(S)]' = \varphi_3''(S)U_{63}(S) + \varphi_3(S)[U_{53}'(S)U_{65}(S) + U_{53}(S)U_{65}'(S)].$$

Здесь $\varphi_3''(S)$ – аналог углового ускорения поворотного рычага МН, определяемый как результат дифференцирования по S аналога угловой скорости $L_3 - \varphi_3'(S)$:

$$\varphi_3''(S) = \frac{2[S^4 - (L_3^2 - L_{13}^2)^2]}{\sqrt{[4L_{13}^2L_3^2 - [S^2 - (L_3^2 + L_{13}^2)]^2]^3}}.$$

Производные по обобщенной координате от функций $U_{53}(S)$, $U_{65}(S)$, $I_v(S)$ определяются по известному из курса дифференциального исчисления алгоритму.

Формализованное описание выражений для определения приведенной силы инерции позволяет точнее оценить КПД и грузоподъемность базового, модернизированного или проектируемого ПНУ, что важно при ограниченной мощности его гидропривода в случае агрегатирования УЭС (или другого мобильного энергетического средства) с тяжелыми и объемными адаптерами.

Литература

1. Гуськов, В. В. Тракторы. Ч. III. Конструирование и расчет / В. В. Гуськов. – Минск : Выш. шк., 1981. – С. 383.
2. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8. Типы, основные параметры и размеры (Межгосударственный стандарт) : ГОСТ 10677. – Минск, 2002.
3. Попов, В. Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей / В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2000. – № 2. – С. 25–29.
4. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Машиностроение, 1988. – С. 640.

УДК 631.312.3

АГРЕГАТИРОВАНИЕ ПЛУГОВ ПО СХЕМЕ «PUSH-PULL» И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ

В. Б. Попов

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

Вспашка почвы является одной из наиболее энергоемких операций в перечне работ по возделыванию сельскохозяйственных культур. Поэтому экономия топлива и эффективное использование мощности двигателя трактора (или другого мобильного энергетического средства) являются весьма важными задачами, делающими необходимостью рациональный выбор схемы пахотного машинно-тракторного агрегата (МТА).

Известно, что при работе МТА, состоящего из полноприводного сельскохозяйственного трактора (4×4) и задненавесной почвообрабатывающей машины или орудия, рост тягового усилия влечет за собой догрузку его заднего и разгрузку переднего мостов [1]. Процесс этот сопровождается ростом буксования передних ведущих колес трактора и одновременным ухудшением управляемости, что в целом снижает производительность МТА. Один из наиболее распространенных способов решения проблемы состоит в рациональном балластировании трактора со стороны переднего моста, способствующем повышению его тягово-сцепных свойств [2].

С другой стороны периодические информационные сообщения о работах зарубежных фирм и ученых [3], [4] показывают, что фронтальный балласт успешно может быть заменен передненавесной машиной (орудием), функционально связанной с технологическим процессом и одновременно выступающей в роли балласта. Примером может служить пахотный МТА (рис. 1), состоящий из трактора и двух плугов, агрегируемых с передним подъемно-навесным устройством (ПНУ) и задним ПНУ по схеме «push-pull» – «тяги-толкай».

Преимущество этого МТА состоит в том, что фронтально навешенный плуг повышает вертикальную нагрузку на передние ведущие колеса, увеличивая их сцепление с почвой и уменьшая буксование. Тяговые свойства трактора, от которых зависят показатели пахотного МТА, определяются не только его эксплуатационной массой, но и распределением ее между мостами. В результате проведения теоретических исследований было установлено, что при использовании трактора с тяговым усилием 30–32 кН (3 тс) фронтальный плуг должен иметь 2 корпуса, а задний – 4. Во время испытаний [5] трактор двигался правыми колесами в борозде и толкал фронтальный плуг, жестко связанный с ним в горизонтальной плоскости, при этом его опорное колесо находилось вне борозды.



Рис. 1. Пахотный машинно-тракторный агрегат, работающий по схеме «push-pull»

По результатам проведенных испытаний утверждается, что пахотный МТА, составленный по схеме «2+4», и состоявший из трактора ХТЗ-16131, фронтального ПЛН-2-35 и заднего ПЛН-4-35 плугов, пахал с большей стабильностью по глубине обработки почвы, чем пахотный МТА составленный по схеме «0+5», представленный тем же трактором и задненавесным плугом – ПЛН-5-35. Кроме того, в соответствии с полученными экспериментальными данными рабочая ширина захвата агрегата по схеме «2+4» была на 20,9 % больше, чем у агрегата по схеме «0+5». Это обеспечило большую производительность первого МТА – на 19,5 %, несмотря на то, что его рабочая скорость оказалась на 1,5 % ниже. В результате удельный расход топлива для пахотного МТА, составленного по схеме «2+4», был ниже, и в условиях полевого эксперимента экономия составила 11,5 % [5].

Автоматизированное проектирование ПНУ тракторов (или других мобильных энергетических средств) на ранних стадиях тесно связано с их функциональным проектированием, опирающимся на математическое и компьютерное моделирование функционирования ПНУ и его компонентов. Обоснованный выбор рациональных параметров ПНУ способствует улучшению агрегатирования трактора и плуга. При известной структуре гидропривода (ГП) и механизма навески (МН), массово-геометрических параметрах плугов и их режимов работы формирование соответствующих функциональных математических моделей (ФММ) вполне реализуемо [6].

Использование ФММ в ходе функционального проектирования представляется в виде последовательно выполняемых процедур геометрического, кинематического, динамического и силового анализа свойств ПНУ, выражающихся в расчетах выходных параметров ГП и МН. Процедура анализа свойств ПНУ целиком входит в состав процедуры его параметрического синтеза, включающую также постановку задачи выбора оптимальных параметров и используемый метод (методы) оптимизации.

Формализованное описание работы переднего и заднего ПНУ в составе пахотного МТА, работающего по схеме «push-pull», и состоящего из трактора ХТЗ-16131, агрегируемого с двухкорпусным и четырехкорпусным плугами, было выполнено на основе апробированной методики функционального проектирования в ходе курсового и дипломного проектирования на кафедре «Сельскохозяйственные машины».

Литература

1. Гуськов, В. В. Тракторы. Ч. II. Теория / В. В. Гуськов. – Минск : Выш. шк., 1981. – 384 с. : ил.
2. Кутьков, Г. М. Балластирование тракторов / Г. М. Кутьков, И. В. Грибов, Н. В. Перевозчикова // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 9. – С. 52–60.
3. Pour une bonne utilisation – Revue technique, 1981. – № 14. – P. 47.
4. Кирюхин, В. Г. Эффективность применения плугов передней и задней навески / В. Г. Кирюхин, А. Ш. Касымов // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 2. – С. 21–23.
5. Надыкто, В. Т. Исследование тракторных и тягово-энергетических показателей работы пахотного агрегата по схеме «PUSH-PULL» / В. Т. Надыкто, А. Д. Кистечок // Агропанорама. – 2016. – № 5. – С. 2–6.
6. Попов, В. Б. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств : монография / В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 252 с.

УДК 621.9

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫМ
ИНСТРУМЕНТОМ, УПРОЧНЕННЫМ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ
ВОЗДЕЙСТВИЕМ, В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ DEFORM**

А. Н. Жигалов

ЗАО «Промлизинг», г. Могилев, Республика Беларусь

Для ускорения проектирования и реализации нового наукоемкого технологического процесса необходимо с максимальной быстротой произвести его всестороннее изучение, оперативно выявить влияние технологических и физических параметров процесса на качество обработки и на структурные свойства инструмента, с помощью которого реализуется такой процесс. Описать взаимосвязи большого количества факторов, влияющих на такие процессы, на стадии создания является сложной задачей из-за не изученности процесса, отсутствия теоретической информации о нем. Это является главным сдерживающим фактором внедрения новых технологий в производство.

Существующие интегрированные автоматизированные конструкторско-технологические системы, основанные на математических, эмпирических и аналитических алгоритмах, описывающих известные принципы и взаимосвязи, протекающие в технологических процессах, позволяют осуществлять моделирование в соответствии с обобщенным алгоритмом функционирования САФ-системы (Computer Aided Forming). Использование САФ-системы базируется на особенностях функционально-ориентированных технологий на основе принципа параллельного проектирования. В основе этой системы положен анализ имитационной реологической модели технологических переходов, комплекс функциональных модулей и аналитических приложений формирования точностных, термодформационных, микрогеометрических и структурно-фазовых параметров обрабатываемых поверхностей. Задача ускоренного исследования решается с помощью имитационного моделирования процессов резания. Наиболее прогрессивным методом исследования является создание имитационных реологических моделей процессов резания, базирующихся на числовых методах, которые дают возможность решать задачу деформирования и разрушения срезаемого слоя на основе фундаментальных уравнений термодинамики тела путем дискретизации пространства методом конечных элементов, в программном продукте DEFORM, являющимся специализированным инженерным программным комплексом, предназначенным для анализа процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки [1].

В программном продукте DEFORM используются аналитические приложения, описывающие в связи между собой отдельные процессы при резании и их влияние на

результаты формирования параметров резания и показателей качества обработки, структуры и свойств режущих инструментов. Исходными данными для моделирования процесса резания в системе DEFORM являются: 2D или 3D модель детали и инструмента с нанесенной лагранжевой или эйлеровой сеткой на поверхности; режимы резания; геометрия режущего клина, его материал и покрытие; прочностные, физико-механические, теплофизические характеристики обрабатываемого материала; модель износа лезвия инструмента и кинетика наростообразования; нормативная погрешность сходимости результатов моделирования по силовому вектору, вектору скорости и допустимой геометрической погрешности; тип задачи деформации и течения металла; вид итерационного метода расчета; выбор расчетного ядра. В такой постановке задача является синергетической, связанной с изучением процессов самоорганизации, поддержания устойчивости и распада подсистем различной природы на основе методов математической физики («формальных технологий»). Однако систему DEFORM с целью повышения точности расчетов и исследований необходимо дополнять конкретными аналитическими зависимостями и обобщающими критериями, более точно описывающими особенности процесса механической обработки.

Автором было предложено использовать программный продукт DEFORM в совокупности с созданной имитационной реологической моделью процесса прерывистого резания на основе анализа силовых, деформационных и энергетических критериев износа и разрушения для исследования процесса прерывистого резания твердосплавным инструментом, упрочненным аэродинамическим методом (АДУ) [2], путем имитационного моделирования, и на основании сравнения с экспериментальными данными сделаны выводы относительно их адекватности реальным процессам и эффективности в сравнении с обработкой неупрочненным инструментом.

Методика имитационного моделирования процесса прерывистого резания в системе DEFORM состояла из ряда этапов: создание задачи; назначение режимов резания; установление условий процесса; настройка и выбор геометрии инструмента; выбор материала и толщины покрытия инструмента; генерирование сетки инструмента и заготовки; выбор материала инструмента; настройка заготовки; назначение геометрии заготовки; генерация сетки для заготовки; выбор материала для заготовки; определение позиции.

На рис. 1 показаны результаты моделирования износа инструмента из твердого сплава MC131, полученные в результате имитационного моделирования в системе DEFORM.

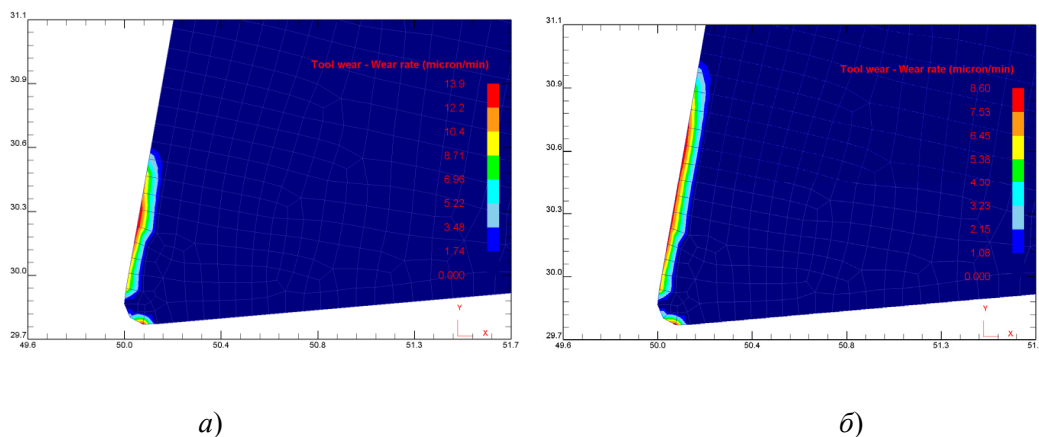


Рис. 1. Результаты имитационных исследований процесса износа инструмента из твердого сплава MC131, неупрочненного (а) и упрочненного методом АДУ (б)

Результаты имитационных исследований процесса износа в системе DEFORM показали, что обработка твердыми сплавами, упрочненными методом АДУ, деталей из стали 45 ($v = 158,3$ м/мин; $s = 0,12$ мм/зуб; $t = 1,0$ мм) способствует, за счет снижения износа, увеличению стойкости инструмента приблизительно на 60 %. Кроме того, моделирование в системе DEFORM процесса резания твердосплавным инструментом, упрочненным методом АДУ, позволило выявить влияние параметров обработки в любой момент резания на такие факторы процесса, как силы резания, температура, давление и др.

Литература

1. Zhigalov, A. N. Investigation of the carbide-tipped tool wear hardened by method of aerodynamic impact / A. N. Zhigalov, V. V. Stypnicki // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – 2018. – Vol. 32, № 6. – P. 818–821.
2. Способ аэродинамического упрочнения изделий : пат. 21049 РБ, МКИ C21D8/00 / А. Н. Жигалов, Г. Ф. Шатуров, В. М. Головков. – № а20131132 ; заявл. 30.09.2013 ; опубл. 30.06.2017 // Афц. бюл. – № 3.

УДК 621.83.06

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ РАДИАЛЬНО- ПЛУНЖЕРНЫХ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

А. В. Капитонов, К. В. Сасковец

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

Целью исследований являлась разработка новых конструкций планетарных радиально-плунжерных передач и методов, позволяющих проводить оценку их точности.

Преимущества данных передач заключаются в небольших их массогабаритных характеристиках, больших передаточных отношениях, соосности валов, невысокой стоимости. Эти передачи могут быть использованы в мехатронных устройствах, приводах промышленных роботов, автоматизированном производстве, где механизмы имеют узлы точной механики и к ним предъявляются высокие требования в отношении кинематической точности [1], [2].

Для проведения исследований разработаны модели малогабаритных планетарных редукторов с улучшенными кинематическими характеристиками на основе радиально-плунжерной передачи с одной и двумя ступенями и передаточными отношениями 7, 11, 49, 121. Предлагаемые конструкции редукторов позволяют повысить кинематическую точность и плавность работы уравновешиванием ведущего звена двумя эксцентриками и ведущими кольцами, установленными оппозитно друг другу, а также применением специального периодического профиля колеса, по которому перемещаются промежуточные тела качения – шары-сателлиты, воспроизводящие закон движения с высокой точностью. Уравновешенность ведущего звена и применение специального профиля на внутренней цилиндрической поверхности колеса, уменьшает динамические нагрузки и повышает кинематическую точность и плавность работы редуктора. При этом его нагрузочная способность увеличивается за счет большего количества шаров, передающих полезную и равномерно распределенную нагрузку в зацеплении.

Методика проведения исследований кинематической точности разработанных редукторов заключалась в оценке их кинематики и динамики путем симуляции вра-

нения модели с заданными параметрами под нагрузкой и определении при этом угловой скорости, ускорений деталей зацепления, сил и моментов в условиях близких к эксплуатационным. Модель разработана в среде лицензионного программного продукта Siemens NX и проведено моделирование в модуле Motion Simulation. Для проверки адекватности результатов компьютерного моделирования кинематические характеристики редукторов рассчитывались по формулам, приведенным в работе [1].

Результаты исследований показали, что колебания угловой скорости ведомого вала из-за динамических нагрузок, вследствие зазоров, ударов шаров-сателлитов при вхождении в зацепление и других факторов при моделировании вращения с приложенным моментом $60 \text{ Н} \cdot \text{м}$ на ведомом звене составили не более 3 % от номинальной угловой скорости выходного вала, что обеспечивает высокую кинематическую точность разработанных редукторов на основе радиально-плунжерной передачи.

Литература

1. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 221 с.
2. Капитонов, А. В. Компьютерное 3D-моделирование конструкций и кинематических параметров планетарных малогабаритных передач / А. В. Капитонов, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. – 2016. – № 11. – С. 34–40.

УДК 631.312.3

РАСЧЕТ НАСТРАИВАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА НАВЕСКИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА

В. Б. Попов, Ю. В. Лелявская

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

Механизмы навески (МН) – основной компонент подъемно-навесных устройств (ПНУ) универсального энергетического средства (УЭС). Это гидромеханическое устройство предназначенное для агрегатирования УЭС с навесными машинами (НМ) и орудиями (рис. 1).

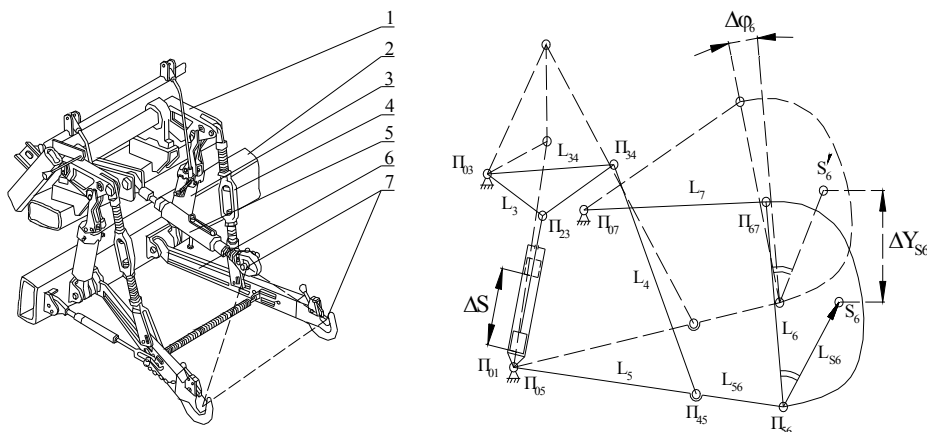


Рис. 1. Механизм навески УЭС «Полесье-250» и схема его плоского аналога:
 1 – поворотный рычаг; 2 – рама энергетического средства; 3 – гидроцилиндр;
 4 – раскос; 5 – верхняя (центральная) тяга; 6 – нижняя тяга; 7 – шарниры
 присоединительного треугольника

Свойства МН, как правило, исследуются на базе его плоского аналога, полученного из 3D-модели проецированием характерных точек механизма (центров шарниров) на его продольную плоскость симметрии. Замкнутая кинематическая цепь, состоящая из МН и НМ идентифицируется одноподвижным восьмизвенным механизмом. Изменение обобщенной координаты которого (ΔS) однозначно связано с изменением положения выходного звена (L_6) – моделирующего НМ и движение его центра тяжести ΔY_{S6} .

Одним из важных этапов процедуры геометрического анализа является расчет длины регулируемых звеньев: раскосов L_4 и центральной тяги L_7 . Обычно вертикальная координата оси подвеса МН определяется по выражению

$$Y_{56}(S) = Y_{05} + L_{56} \sin \varphi_5(S). \quad (1)$$

Определение вертикальной координаты оси подвеса Y_{56} можно представить несколько иначе, с учетом ее зависимости от длины раскоса L_4 :

$$Y_{56}(S) = Y_{34}(S) + L_4 \sin \varphi_4(S) + (L_{56} - L_5) \sin \varphi_5(S). \quad (2)$$

Регулируемая длина раскоса МН L_4 обычно настраивается вручную так, чтобы вертикальная координата оси подвеса (однозначно определяемая обобщенной координатой) в начале движения поршня ($S = S_0$) была несколько меньше вертикальной координаты нижнего шарнира НМ – $Y_{56}^{раб}$, т. е. всегда $S_0 \leq S^{раб}$.

Рассмотрим положение нижней тяги L_{56} при условно минимальном выдвигении штока гидроцилиндра, $S = S_{min}$, исходя из того, что вертикальная координата центра шарнира Π_{56} нижней тяги будет ниже, чем вертикальная координата нижних зацепов НМ, соответствующих заданному $Y_{56}^{раб}$, на 0,1 м (100 мм). При этом тяга L_{56} будет расположена под углом φ_5^0 , определяемом в правой декартовой системе координат

$$\varphi_5^0 = \arcsin \left[\frac{(Y_{56}^{раб} - 0,1) - Y_{05}}{L_{56}} \right], \quad \varphi_5^0 = -19,84 \text{ град.}$$

Здесь следует отметить, что значение вертикальной координаты зацепа НМ – $Y_{56}^{раб}$ свое для каждой НМ. Например, для кормоуборочного комбайна ПКК-3000 $Y_{56}^{раб} = 0,4$ м, для косилки КПП-9 $Y_{56}^{раб} = 0,48$ м, для кормоуборочного комбайна КНК-500 $Y_{56}^{раб} = 0,33$ м. В данном случае УЭС-290/450 агрегируется с КНК-500 и вертикальная координата центра шарнира нижней тяги равна $Y_{56}^0 = 0,33 \text{ м} - 0,1 \text{ м} = 0,23 \text{ м}$.

Подставив уравнение (1) в (2) и выполнив некоторые преобразования с учетом определенного $\varphi_5^{min} = -19,84$ град, решаем уравнения численно в пакете MathCAD, определяем $L_4 = 0,7117$ м и соответствующее координате $Y_{56}^{раб} = 0,33$ м значение $S^{раб} = 0,608$ м. Это означает, что при выбранном L_4 для перевода шарнира L_{56} из положения $Y_{56}^0 = 0,23$ м в положение $Y_{56}^{раб} = 0,33$ м поршень из начального положе-

ния, определяемого $S = S_0 = 0,571$ м должен вхолостую продвинуться на 0,037 м (37 мм). Величина холостого хода поршня ГЦ и ее доля в % ко всему его ходу определяются как:

$$\Delta S^{xx} = S^{раб} - S_0, \quad xx\% = \frac{\Delta S^{xx}}{\Delta S},$$

где ΔS - полный ход поршня ГЦ.

При данной конфигурации МН для обеспечения расположения его нижних тяг на 100 мм ниже вертикального положения зацепов КНК-500 следует отрегулировать L_4 на 0,7117 м.

Определив в процессе геометрического анализа, с помощью ограничения, накладываемого на $\varphi_6(S^{раб})$ – угол, образуемый высотой присоединительного треугольника в рабочем положении НМ, определяем регулируемую длину центральной тяги $L_7 = 0,8598$ м.

Для регулировки центральной тяги L_7 следует учитывать координаты ее неподвижного шарнира $П_{07}$ и угол наклона стойки L_6 присоединительного треугольника $\varphi_6^{раб} = 90$ град. Затем рассчитываем φ_6^{max} – соответствующий $S_{max} = 0,821$ м, завал стойки $\Delta\varphi_6$ и рабочий ход оси подвеса ΔY_{56} . Результаты расчетов для трех вариантов L_4 сведены в таблицу.

Влияние настройки раскосов и центральной тяги на ход оси подвеса и завал стойки в МН

S_0 , м	$S^{раб}$, м	ΔS^{xx} , мм	xx, %	Y_{56}^0 , м	Y_{56}^{max} , м	ΔY_{56} , м	L_4 , м	L_7 , м	φ_5^0 , град	φ_6^{max} , град	$\Delta\varphi_6$, град
0,571	0,608	37,0	14,8	0,230	0,8666	0,5366	0,7117	0,8598	-19,84	103,3	13,3
0,571	0,5993	28,3	11,3	0,255	0,8842	0,5542	0,7002	0,8598	-18,31	103,9	13,9
0,571	0,5902	19,2	7,68	0,280	0,9018	0,5718	0,6887	0,8598	-16,78	104,6	14,6

$$Y_{56}^{раб} = 0,33\text{м}$$

$$\varphi_5^{раб} = -13,77 \text{ град}$$

$$\varphi_6^{раб} = 90 \text{ град}$$

УДК 631.3.024.028

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЗОНЫ КРЕПЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА СИЛОСОПРОВОДА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА «ПОЛЕСЬЕ-6025»

А. Д. Конявский

Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», Республика Беларусь

В конструкции кормоуборочного комбайна силосопровод предназначен для направления потока измельченной технологической массы в кузов транспортного средства.

В силу возложенных на него функций он должен обладать достаточными габаритами для транспортировки массы, прочностью и подвижностью, обеспечивающей поворот вокруг собственной оси не менее чем на 180 градусов. Для обеспечения подвижности силосопровод в зоне крепления к неподвижному основанию имеет шарнир поворота и механизм, обеспечивающий поворот вокруг этого шарнира.

В силу всего вышеперечисленного зона крепления механизма поворота силосопровода на тумбе должна обладать рядом взаимоисключающих свойств: обладать достаточной прочностью для удержания силосопровода при движении комбайна по полю, обладать достаточной компактностью для рациональной установки ее на комбайне, не противоречащей компоновке расположенных рядом других узлов и агрегатов, обладать требуемой функциональностью, позволяющей правильно организовать в этой зоне шарнир вращения и расположить механизм поворота.

При проектировании комбайна обеспечение всех этих свойств часто приводит к возникновению различных технических проблем. При решении одной из таких проблем могут возникнуть затруднения с обеспечением других свойств изделия.

Рассмотрим решение одной из таких проблем на примере самоходного кормоуборочного комбайна «Полесье-6025» производства ОАО «Гомсельмаш».

При эксплуатации комбайна в условиях жесткой динамики (полевой фон с повышенным уровнем неровностей) была зафиксирована трещина в зоне приварки опоры червяка предохранительного механизма силосопровода к неподвижному основанию. Данное разрушение было идентифицировано как следствие повышенной вертикальной динамики силосопровода.

Для поиска решения данной научно-технической проблемы было проведено исследование усталостной прочности твердотельной модели зоны крепления предохранительного механизма поворота силосопровода, установленного на тумбе.

При исследовании усталостной прочности конструкции был рассмотрен цикл перемены напряжений, где максимальные напряжения цикла соответствуют режиму нагружения: силосопровод повернут вправо по ходу движения, конструкция нагружена собственным весом с учетом коэффициента динамики в вертикальной плоскости $K_d = 4$, а минимальные напряжения цикла соответствуют режиму нагружения: силосопровод повернут влево по ходу движения, конструкция нагружена собственным весом без динамики в вертикальной плоскости $K_d = 1$.

Для расчета усталостной прочности элементов конструкции принят материал конструкционная сталь 09Г2С со следующими характеристиками: коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$, модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па [1].

В процессе расчета были определены главные максимальные и главные минимальные напряжения в рассматриваемой конструкции. Поля главных напряжений в конструкции зоны крепления механизма поворота силосопровода представлены на рис. 1.

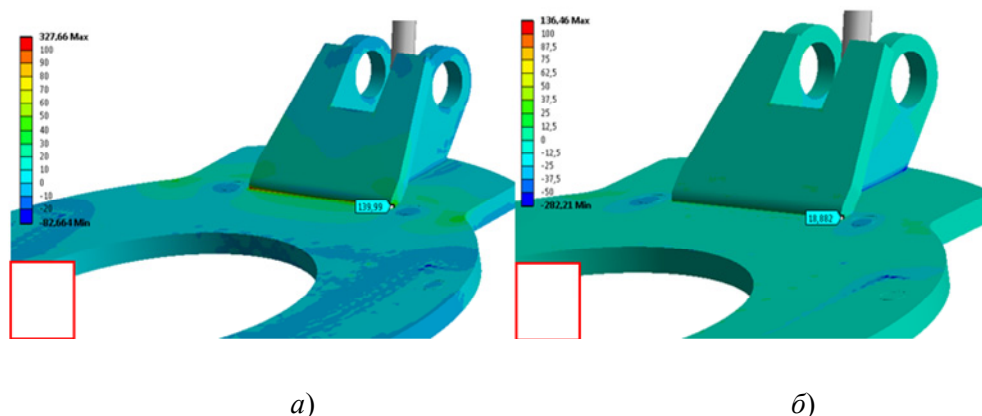


Рис. 1. Поля главных напряжений

в конструкции зоны крепления механизма поворота силосопровода:

а – главные максимальные напряжения; б – главные минимальные напряжения

Расчет усталостной прочности был проведен по известной из литературы [4] формуле.

По результатам расчета было выявлено, что запас усталостной прочности конструкции не удовлетворяет условиям прочности. Для обеспечения усталостной прочности конструкции были выполнены изменения конструкции путем увеличения площади приварки в зоне крепления механизма поворота силосопровода к тумбе комбайна. После чего провели расчет измененной конструкции и определили запас усталостной прочности по вышеописанной формуле. Запас усталостной прочности в этом случае удовлетворяет условиям прочности конструкции, что обеспечивает его гарантированную работоспособность.

Представленный способ обеспечения усталостной прочности позволяет гарантированно избежать разрушения в зоне крепления механизма поворота силосопровода, тем самым обеспечивая его работоспособность.

Представленный подход эффективного решения вопросов обеспечения прочности конструкций применяется в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» при проектировании схожих конструкций механизмов поворота силосопровода кормоуборочных комбайнов производства ОАО «Гомсельмаш».

Л и т е р а т у р а

1. Дарков, А. В. Соппротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – М. : Высш. шк., 1969. – 734 с.
2. Штейнвольф, Л. И. Динамические расчеты машин и механизмов / Л. И. Штейнвольф. – М. : Машгиз, 1961. – 339 с.
3. Басов, К. А. ANSYS справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
4. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер. – М. : Высш. шк., 1979. – 465 с.

УДК 631.35.02

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ГЛУШИТЕЛЯ МОТОРНОЙ УСТАНОВКИ САМОХОДНОЙ УБОРОЧНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ КЗС-812

А. В. Воронин

*Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
Республика Беларусь*

Конструкции, работающие в условиях повышенных вибраций, требуют неоднозначного подхода к обеспечению их работоспособности, а именно, обеспечению не только статической прочности, но и допустимой динамической нагруженности. Одной из таких конструкций является глушитель моторной установки самоходной уборочной сельскохозяйственной машины КЗС-812 ОАО «Гомсельмаш». Определение собственных частот данной конструкции является необходимым по причине того, что она размещается в непосредственной близости от источников вибрации во время работы машины. Источниками динамического нагружения, оказывающими влияние на рассматриваемую конструкцию, являются основная гармоника опрокидывающего момента двигателя внутреннего сгорания и коленчатый вал двигателя. Требуемым условием работоспособности конструкции при вибрациях является несовпадение собственных частот с рабочим диапазоном действующих внешних нагрузок. Если же данное условие не выполняется, то предпринимаются меры по выведению собственных частот из рабочего диапазона конструкции. Это достигается путем изменения жесткости конструкции или ее массово инерционных характеристик.

Так как глушитель находится в непосредственной близости от двигателя внутреннего сгорания, принимаем его за один из основных возбудителей резонансных явлений, непосредственно воздействующих на рассматриваемую конструкцию.

Двигатель внутреннего сгорания имеет два основных возмущающих фактора, определяющих его вибрацию: неуравновешенность коленчатого вала и опрокидывающий момент, возникающий под действием газовых сил в цилиндрах.

Обороты двигателя в сельскохозяйственной уборочной технике из-за необходимости поддержания равномерности техпроцесса поддерживаются на одном уровне и имеют очень малый диапазон рабочих частот вращения коленчатого вала, поэтому для КЗС-812 с двигателем ЯМЗ-238НЕ2-48 рабочие обороты двигателя будут равны $\nu_{рх} = 35$ Гц (2100 об/мин).

Частота основной гармоники опрокидывающего момента для 4-тактного V-образного 8-цилиндрового двигателя ЯМЗ-238НЕ2-48 с неравномерным чередованием рабочих ходов может быть определена по формуле (1) [1]:

$$F_{в} = \frac{0,5ni}{60\tau}, \quad (1)$$

где n – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин; i – количество цилиндров двигателя; $\tau = 2$ – для четырехтактного двигателя.

По результатам расчета конструкции определяют собственные частоты, величину отстройки и динамический коэффициент для форм собственных колебаний. Для обеспечения работоспособности рассматриваемой конструкции необходимо выполнение условия, при котором отстройка собственных частот конструкции от частот внешних возмущающих воздействий должна быть более чем 20 % [2]. Если данное условие не выполняется, то предпринимаются меры по увеличению отстройки собственных частот конструкции глушителя от частот рабочего диапазона двигателя комбайна.

Увеличение отстройки достигается несколькими способами. Первый способ заключается в изменении частоты вращения рабочих органов, имеющих малую отстройку частоты их колебаний от частоты собственных колебаний глушителя моторной установки. Второй способ по увеличению отстройки частот друг от друга это изменение жесткости рассматриваемой конструкции или ее массово инерционных характеристик. Другие способы гашения колебаний такие как вибродемпфирование и динамическое гашение колебаний в силу их сложной реализации в данной конструкции применять экономически не выгодно.

Для конструкции глушителя КЗС-812 изменение диапазона частот вращения двигателя не представляется возможным, так как они соответствуют величинам, обеспечивающим стабильный технологический процесс, а для изменения формы самого глушителя необходима глубокая оценка возможного изменения противодавления и шумоподавления отработанных газов двигателя, что значительно увеличивает трудоемкость изменений и является нецелесообразной.

В связи с вышеизложенным увеличение отстройки частот проведено путем изменения конструкции крепления глушителя [3]. Такое увеличение жесткости (уменьшение массы) позволяет увеличить собственную частоту (ω_0), при этом конструкция будет заведомо работать в дорезонансном режиме ($\omega < \omega_0$). Уменьшение жесткости (увеличение массы) дает возможность работать в зарезонансной зоне ($\omega_0 > \omega$) [4].

Представленный способ обеспечения допустимой динамической нагруженности позволяет гарантированно избежать возникновения резонансных явлений, тем самым обеспечивая работоспособность глушителя КЗС-812.

Представленный подход эффективного решения вопросов снижения динамической нагруженности применяется в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» при проектировании схожих конструкций глушителей моторных установок самоходных уборочных сельскохозяйственных машин производства ОАО «Гомсельмаш».

Литература

1. Колебания силового агрегата автомобиля / В. Е. Тольский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 266 с.
2. Штейнвольф, Л. И. Динамические расчеты машин и механизмов / Л. И. Штейнвольф. – М. : Машгиз, 1961. – 339 с.
3. Воронин, А. В. Обеспечение работоспособности навесных вспомогательных элементов в конструкциях сельскохозяйственных машин / А. В. Воронин, А. С. Шантыко, В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2018. – № 2. – С. 14–20.
4. Иванов, Н. И. Основы виброакустики / Н. И. Иванов, А. С. Никифоров. – М. : Политехника, 2000. – 482 с.
5. Басов, К. А. ANSYS справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛОВЫХ ФРЕЗ

Н. Э. Тетерич, М. И. Михайлов

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

Э. Кокер и Л. Файлон еще в 30-х гг. положили начало исследованиям напряженного состояния режущего клина. А. И. Бетанели продолжил и развил метод Э. Кокера и Л. Файлона. В отличие от них А. И. Бетанели рассматривал напряженное состояние клина за пределами зоны контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

Исследования напряженного состояния на оптически прозрачных моделях позволили определить качественный характер распределения напряжений в режущей части резцов. Однако большая трудоемкость изготовления моделей и обработки полученных результатов не позволяет более широко использовать этот метод.

Угловые фрезы находят широкое применение в машиностроении при изготовлении профильных деталей и отрезке труб большого диаметра с подготовкой поверхностей под сварку. Отказ такого инструмента происходит чаще всего по прочности.

Исследования напряженно-деформированного состояния выполнялись методом конечных элементов. Для этого была разработана 3D-модель инструмента (рис. 1, а), а также произведено ее разделение на конечные элементы (рис. 1, б). Для проведения расчетов разработаны граничные условия и приложена распределенная нагрузка на переднюю и заднюю поверхности зубьев фрезы.

Расчеты произведены в программе «КОМПАС 3Д, АРМ FEM» с помощью встроенного математического пакета методом конечных элементов, с максимальной стороной одного элемента не более 0,3 мм. Принимали два режима резания, при частоте вращения $n = 35$ об/мин и подаче $S = 40$ мм/мин, а также при частоте $n = 70$ об/мин и подаче $S = 80$ мм/мин. Принятые режимы резания позволили определить силы резания. Напряженно-деформированное состояние в данном расчете отображает картину распределения напряжений в исследуемом инструменте.

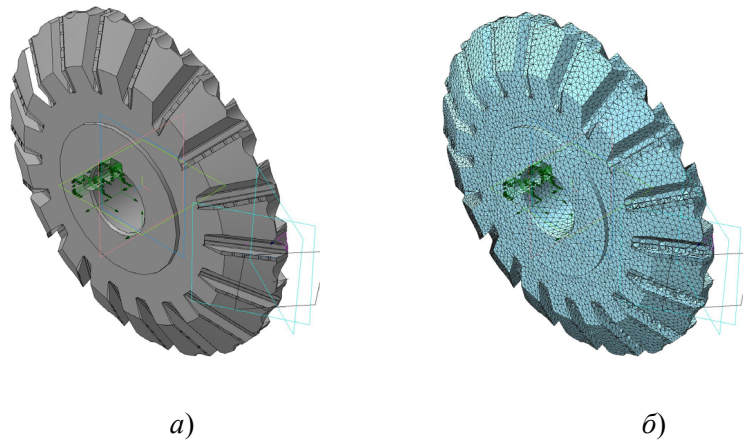


Рис. 1. Расчетные модели:
а – 3D-модель; б – ее конечно-элементное представление

Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3.

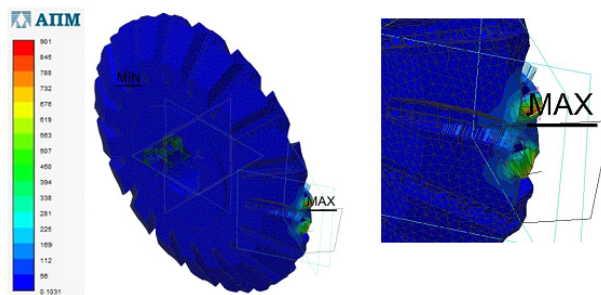


Рис. 2. Картина распределения напряжения угловой фрезе при частоте вращения $n = 35$ об/мин, подаче $S = 40$ мм/мин

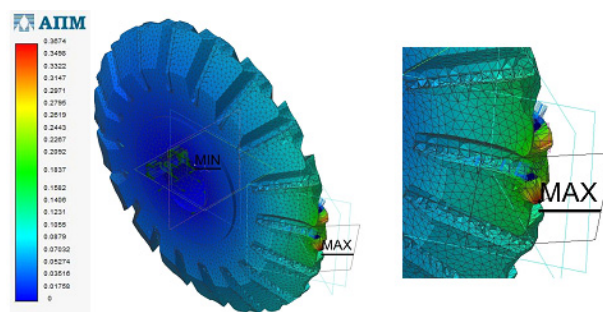


Рис. 3. Картина линейных перемещений для цельной угловой фрезы при частоте вращения $n = 35$ об/мин, подаче $S = 40$ мм/мин, а также $n = 70$ об/мин, $S = 80$ мм/мин

Литература

1. Бетанели, А. И. Приспособление для поляризационно-оптического исследования напряжений в режущей части инструмента в процессе резания / А. И. Бетанели // Тр. Грузин. политехн. ин-та. – 1965. – № 3. – С. 16–21.

2. Primus, J. F. Spezifische Beanspruchungen in den Kontaktsonen von Drehwerkseenden und ihr Einfluss auf Spanbildung und Verschleiss / J. F. Primus // Industrie Anzeiger. – 1970. – № 24. – S. 17–21.
3. Хаєт, Г. Л. Прочность режущего инструмента / Г. Л. Хаєт. – М. : Машиностроение, 1975. – 164 с.
4. Бетанели, А. И. Хрупкая прочность режущей части инструмента / А. И. Бетанели. – Тбилиси : ГПИ, 1969. – 248 с.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СБОРНЫХ СВЕРЛ

Е. В. Демчук, М. И. Михайлов

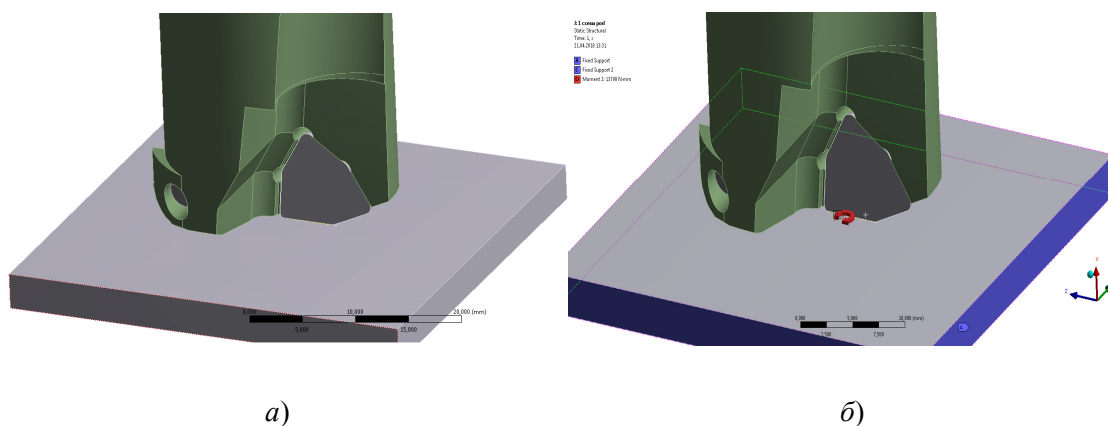
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Исследования напряженного состояния инструмента производились на оптически прозрачных моделях, которые позволили определить качественный характер распределения напряжений в режущей части инструмента. Однако большая трудоемкость изготовления моделей и обработки полученных результатов не позволяет более широко использовать этот метод.

Сборные сверла находят широкое применение в машиностроении при получении отверстий как в сплошном материале, так и в листовых конструкциях. Отказ такого инструмента происходит чаще всего по прочности.

Исследования напряженно-деформированного состояния выполнялись методом конечных элементов. Для этого была разработана 3D-модель инструмента (рис. 1, а), а также произведено ее разделение на конечные элементы. Для проведения расчетов разработаны граничные условия и приложена распределенная нагрузка.

Для исследования сил резания в переходных процессах при сверлении сборными сверлами, была установлена последовательность врезания участков режущих кромок СМП в поверхность заготовки.



*Рис. 1. Расчетные модели:
а – 3D-модель; б – расчетная схема*

Расчеты произведены в программе «КОМПАС 3Д, АРМ FEM» с помощью встроенного математического пакета методом конечных элементов, с максимальной стороной одного элемента не более 0,1 мм. Режимы резания выбирали для условий

106 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

обработки рамы автомобиля МАЗ при подаче $S = 0,30$ мм/об. Результаты расчетов приведены на рис. 2 и 3.

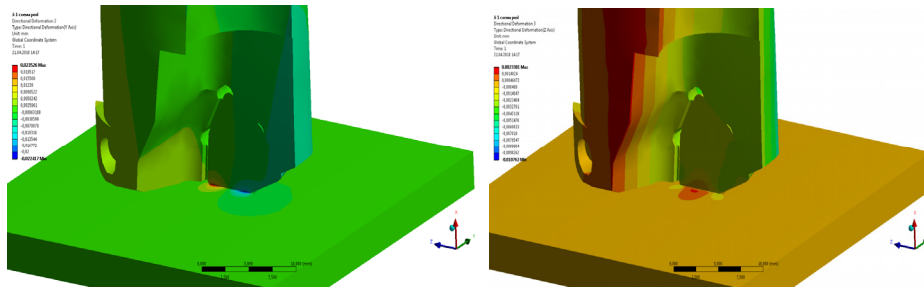
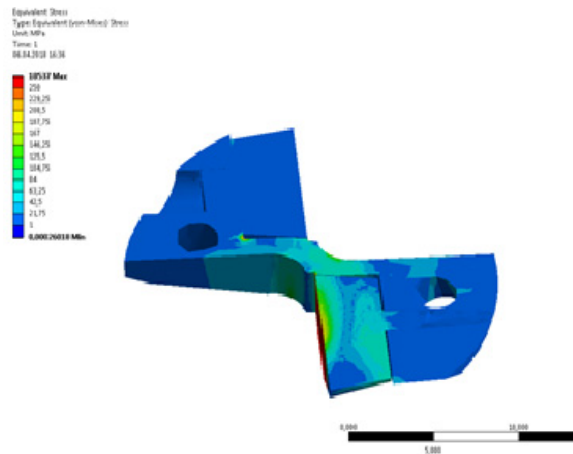
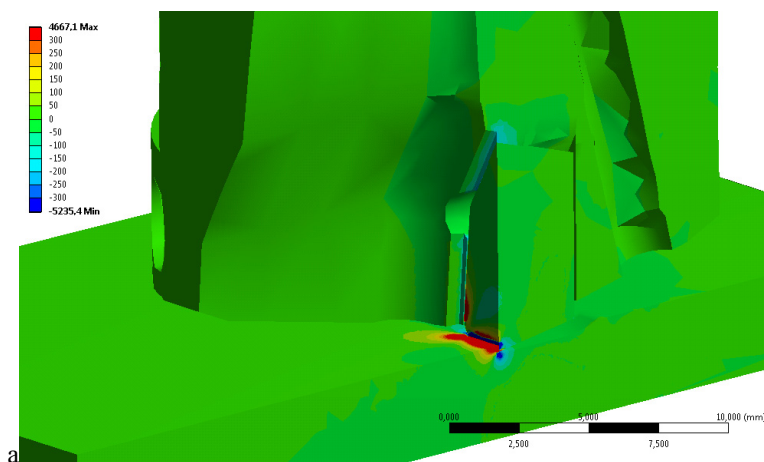


Рис. 2. Картина распределения напряжений (а) и перемещений в радиальном направлении (б)



а)



б)

Рис. 3. Картина распределения напряжений в поперечном (а) и продольном (б) направлениях

Полученные результаты позволяют управлять режимами обработки и прогнозировать работоспособность инструмента.

Литература

1. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.

УДК 621

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ
МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА
ИНСТРУМЕНТА**

М. И. Михайлов

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

Точность расположения формообразующих кромок сменных многогранных пластин (СМП) зависит от погрешности формы передних и задних поверхностей, а также от погрешности формы и взаимного расположения их базовых поверхностей.

В качестве режущих элементов сборного инструмента используются пластины, которые нашли широкое применение в промышленности (форм 0139А, 0141А и 01176404, 03171405, 10171405).

Были проведены статистические исследования геометрических параметров и отклонения от плоскостности базовых граней СМП.

Для более полного анализа контурных площадей касания граней пластин были построены аналитические формы касания с заданной вероятностью. При построении этих форм номинальная площадь разбивалась на элементарные площадки. Каждая элементарная площадка обрабатывалась статистически, т. е. определялись средние значения, среднеквадратическое отклонение и строились гистограммы распределений. По полученным гистограммам определялись элементарные площадки, имеющие контакт с заданной вероятностью. Задаваясь вероятностями, определялись номера площадок, имеющих контакт, по которым формировалась контурная площадь касания с заданной вероятностью. При этом формировалась матрица

$$\left[Z_{P_{i,j}} \right] = \begin{bmatrix} Z_{P_{1,1}} & Z_{P_{1,2}} & Z_{P_{1,j}} & Z_{P_{1,n}} \\ Z_{P_{2,1}} & Z_{P_{2,2}} & Z_{P_{2,j}} & Z_{P_{2,n}} \\ Z_{P_{i,1}} & Z_{P_{i,2}} & Z_{P_{i,j}} & Z_{P_{i,n}} \\ Z_{P_{m,1}} & Z_{P_{m,2}} & Z_{P_{m,j}} & Z_{P_{m,n}} \end{bmatrix},$$

$$Z_{P_{i,j}} = 1, \text{ если } P_{i,j\text{зад}} \leq P_{i,j\text{фак}}; \quad Z_{P_{i,j}} = 0, \text{ если } P_{i,j\text{зад}} > P_{i,j\text{фак}},$$

где $P_{i,j\text{зад}}$ – заданная вероятность; $P_{i,j\text{фак}}$ – фактическая вероятность наличия действительной контурной площади касания в элементарной ячейке с координатами центра $X_{i,j}, Y_{i,j}$.

Для получения аналитических зависимостей использовали метод координат.

Основные базирующие поверхности СМП описывались в системе $OXYZ$, а формообразующие кромки – $oxyz$, тогда положение формообразующих кромок относительно основных баз определялось как положение системы $oxyz$ в системе $OXYZ$.

Это положение задавалось через радиус-вектор \bar{r}_{P_3} с обобщенными параметрами $\mu_{N_{P_3,N}}$ при заданной вероятности $\bar{r}_{P_3}(\mu_{1,P_3,1} \dots \mu_{N_{P_3,N}})$. Расстояние от точек базового отверстия СМП до точек формообразующих кромок можно выразить через координаты точки i (X, Y, Z) в системе $oxuz$. Радиус-векторы могут быть рассчитаны по формуле

$$\bar{r}_{1,P_3}(\mu_{1,P_3,1} \dots \mu_{N_{P_3,N}}) = \bar{r}_{0,P_3} + M_{01}[q_1(\mu_{m_1,P_3,m_1} \dots \mu_{N_{P_3,N}}), \dots, q_6(\mu_{m_1,P_3,m_1} \dots \mu_{N_{P_3,N}})]\bar{R}_{P_3}(\mu_{1,P_3,1} \dots \mu_{N_{P_3,N}}).$$

Аналогично расстояния от точек формообразующих кромок до основной базы являются координатами точки j (X, Y, Z) в системе $0XYZ$

$$\bar{R}_{P_3}(\mu_{1,P_3,1} \dots \mu_{N_{P_3,N}}) = \bar{r}_{0,P_3} + M_{01}^T[q_1(\mu_{m_1,P_3,m_1} \dots \mu_{N_{P_3,N}}), \dots, q_6(\mu_{m_1,P_3,m_1} \dots \mu_{N_{P_3,N}})]\bar{r}_{P_3}(\mu_{1,P_3,1} \dots \mu_{N_{P_3,N}}),$$

где M^T – транспонированная матрица преобразования систем координат; \bar{r}_{0,P_3} – радиус-вектор взаимного расположения начал систем координат с заданной вероятностью.

Так как любой конструктивный линейный и угловой параметр между двумя поверхностями может быть выполнен с определенной технологической погрешностью, то каждый из размеров имеет пределы верхний и нижний, которые можно с заданной вероятностью записать в матричной форме:

$$[\Delta_{BL_{P_L}}] = (\Delta_{BA_{P_A}}, \Delta_{BB_{P_B}}, \Delta_{BB_{P_B}}); \quad [\Delta_{HL_{P_L}}] = (\Delta_{HA_{P_A}}, \Delta_{HB_{P_B}}, \Delta_{HB_{P_B}}).$$

Тогда отклонение расстояний от точек формообразующих кромок в выбранной системе координат можно представить как функцию относительной удаленности, поворота и отклонений от плоскости поверхностей СМП, полученную путем сложения соответствующих матриц.

С помощью матрицы налагаемых связей выявлялись функциональные зависимости между элементами погрешности расположения $[\omega_{y_P}] = (a_{y_P}, b_{y_P}, c_{y_P}, \lambda_{y_P}, \beta_{y_P}, \gamma_{y_P})$ с заданной вероятностью и нормальными координатами опорных точек

$$[\omega_{y_P}] = [Q_P][P_P],$$

где $[Q_P]$ – матрица налагаемых связей, которая в общем случае представляет собой квадратную матрицу шестого порядка $[Q_P] = [q_{in_P}]^n$ при $n = 6$, тогда

$$\begin{bmatrix} a_{y_P} \\ b_{y_P} \\ c_{y_P} \\ \lambda_{y_P} \\ \beta_{y_P} \\ \gamma_{y_P} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11_P} & q_{12_P} & q_{13_P} & q_{14_P} & q_{15_P} & q_{16_P} \\ q_{21_P} & q_{22_P} & q_{23_P} & q_{24_P} & q_{25_P} & q_{26_P} \\ q_{31_P} & q_{32_P} & q_{33_P} & q_{34_P} & q_{35_P} & q_{36_P} \\ q_{41_P} & q_{42_P} & q_{43_P} & q_{44_P} & q_{45_P} & q_{46_P} \\ q_{51_P} & q_{52_P} & q_{53_P} & q_{54_P} & q_{55_P} & q_{56_P} \\ q_{61_P} & q_{62_P} & q_{63_P} & q_{64_P} & q_{65_P} & q_{66_P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta(X, Y, Z)_{1_P} \\ \Delta(X, Y, Z)_{2_P} \\ \Delta(X, Y, Z)_{3_P} \\ \Delta(X, Y, Z)_{4_P} \\ \Delta(X, Y, Z)_{5_P} \\ \Delta(X, Y, Z)_{6_P} \end{bmatrix}.$$

Анализ полученных данных позволяет заключить, что наибольшей точностью обладают СМП призматической формы с базированием в закрытый паз корпуса инструмента.

Литература

1. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плещачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.

СЕКЦИЯ 2. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 539.3:621.793

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ И УПРУГОСТИ ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Н. А. Долгов¹, И. В. Смирнов²

¹*Институт проблем прочности имени Г. С. Писаренко
Национальной академии наук Украины, г. Киев*

²*Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Характеристики прочности плазменно-напыленных покрытий необходимы для расчетов на прочность элементов конструкций с покрытиями. Сведения о механических характеристиках необходимы также для оптимизации технологического процесса нанесения покрытий по критериям прочности [1], [2].

При определении характеристики прочности и упругости покрытия используют различные методики [3]. Для каждой методики разрабатывают образцы определенной формы, вида и конфигурации. Методы определения механических свойств отличаются также и способом нагружения образцов. Все это приводит к несопоставимости результатов, получаемых различными исследователями. Методики, позволяющие получить в течение единого экспериментального цикла несколько механических характеристик покрытий, более информативны, достоверны, корректны и перспективны. В основу разработанной методологии положены кратковременные статические испытания на растяжение образцов с покрытиями.

Для испытаний использовали образец с покрытием (рис. 1). Металлический образец, который используется в качестве основы, изготавливали в соответствии со стандартами для испытания механических свойств металлов без покрытий. Непосредственно из эксперимента определяли:

1. Деформации на поверхностях покрытия и металлической основы с помощью тензодатчиков, которые крепятся к покрытой и непокрытой частям образца (рис. 1).
2. Растягивающие усилия, соответствующие этим деформациям.
3. Сигналы акустической эмиссии для регистрации момента разрушения растрескивания и отслоения покрытия.
4. Деформации когезионного растрескивания покрытия и его адгезионного отслоения.

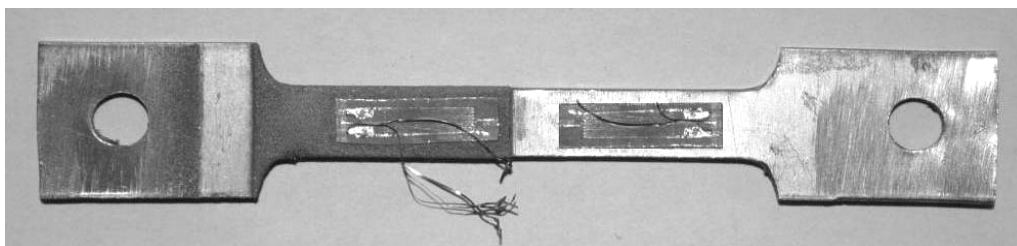


Рис. 1. Образец с плазменно-напыленным покрытием и тензодатчиками на покрытой (слева) и непокрытой (справа) частях образца

Затем определяли характеристики прочности покрытий. В основу расчетов положены аналитические выражения для определения величин нормальных напряжений в покрытии и касательных напряжений в плоскости адгезионного контакта основы и покрытия, приведенные в работе [4]. Для определения величины максимальных касательных напряжений можно также использовать численные методы.

После испытаний образцов на растяжение определяли следующие механические характеристики покрытий:

- 1) модули упругости основы и покрытия (модуль упругости покрытия определяли по методике, описанной в [5]);
- 2) когезионную прочность покрытия;
- 3) адгезионную прочность покрытия;
- 4) деформации основы, при которых происходит когезионное разрушение и/или адгезионное отслоение покрытия.

К качеству примера приведены испытания на растяжение двухслойных покрытий, плазменно-напыленных на плоские металлические образцы, которые были изготовлены в соответствии с ГОСТ 1497–84. Для материала основы использовали листовую сталь 08Х18Н10 толщиной 2 мм. Подслой толщиной 100 мкм напыляли с помощью порошка $\text{Co-32\%Ni-21\%Cr-8\%Al-0,5\%Y}$ (дисперсностью – 75 + 45 мкм). Для напыления внешнего керамического покрытия (толщиной 200 и 400 мкм) использовали порошок $\text{ZrO}_2\text{-8\%Y}_2\text{O}_3$ (дисперсностью – 125 + 45 мкм). На рис. 2 показан образец с растрескавшимся и частично отслоившимся металлокерамическим покрытием.



Рис. 2. Фрагмент образца с металлокерамическим покрытием после испытаний на растяжение

Сделан вывод, что разработанная методология позволяет определять в едином экспериментальном цикле адгезионно-когезионные и упругие характеристики плазменно-напыленных покрытий.

Литература

1. Design of experiments in thermal spraying: A review / C. Pierlot [et al.] // Surface and Coatings technology. – 2008. – Vol. 202, № 18. – P. 4483–4490.
2. Долгов, Н. А. Влияние режимов плазменного напыления нанокompозитного порошка $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{nanoTiO}_2$ на прочность сцепления покрытий / Н. А. Долгов, И. В. Смирнов, А. Ю. Андрейцев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 83–92.
3. Ang, A. S. M. A review of testing methods for thermal spray coatings / A. S. M. Ang, C. C. Berndt // International Materials Reviews. – 2014. – Vol. 59, № 4. – P. 179–223.

4. Dolgov, N. A. Analytical methods to determine the stress state in the substrate–coating system under mechanical loads / N. A. Dolgov // Strength of materials. – 2016. – Vol. 48, № 5. – С. 658–667.
5. Dolgov, N. A. Method for determining the modulus of elasticity for gas thermal spray coatings / N. A. Dolgov // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2004. – Vol. 43, № 7–8. – P. 423–428.

УДК 678.029:621.891.27

**ВЛИЯНИЕ МУЛЬТИГИБРИДНЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ
НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА МЕЖФАЗНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ
И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

И. И. Злотников¹, П. А. Хило¹, В. М. Шаповалов²

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель*

В современном полимерном материаловедении большое внимание уделяется созданию так называемых мультигибридных наполнителей, в состав которых включены частицы наполнителя большого, малого и сверхмалого (ультрадисперсного) размеров, причем эти частицы могут иметь различную природу. Особое влияние ультрадисперсных наполнителей связано с тем, что размер частиц наполнителя становится соизмеримым с радиусом действия сил межмолекулярного взаимодействия, а материал полимерной матрицы в тонких межфазных областях переходит в особое состояние «граничных слоев» под действием энергетических полей твердой поверхности наполнителя.

Основной трудностью применения таких наполнителей при разработке полимерных композиционных материалов является проблема стабилизации ультрадисперсных частиц наполнителя в полимерной матрице из-за их повышенной склонности к агломерации и образованию крупных конгломератов. Уникальные свойства ультрадисперсных частиц при этом практически полностью теряются. Однако если ультрадисперсная фаза наполнителя имеет иную природу, чем более крупные частицы, то возникает возможность управления их межфазным взаимодействием, что приведет к равномерному распределению частиц ультрадисперсного наполнителя в объеме более крупного, а не образованию ассоциатов между собой.

Целью данного исследования является разработка мультигибридного органо-минерального наполнителя, который обладая высокой твердостью и абразивностью, свойственной минеральным наполнителям, имеет высокое физико-химическое сродство к полимерной матрице, а также изучение его влияния на некоторые физико-механические свойства полиамида.

Органо-минеральный наполнитель был получен как продукт химического взаимодействия органического и неорганического олигомеров. В качестве органического компонента в данном исследовании использовали водорастворимую фенолоформальдегидную смолу, а в качестве неорганического – водный раствор высокомолекулярного жидкого стекла. Полученную бинарную органно-неорганическую систему коагулировали водным раствором хлорида железа (FeCl_3). После завершения процесса золь-гель перехода полученный продукт выдерживали для созревания, а обра-

зовавшийся осадок отфильтровывали, промывали и сушили путем нагрева токами СВЧ. Физико-химический анализ полученного нерастворимого в воде продукта показал, что его можно рассматривать как органосиликатный аддукт, в котором микрокластеры аморфного SiO₂ различного размера (около 48 мас. %) интеркалированы в более крупные частицы фенолоформальдегидного олигомера ROH (всего около 45 мас. %), часть которого находится в фенолятной форме RONA, в котором в результате катионного обмена часть ионов Na⁺ замещается ионами Fe³⁺, что может приводить к образованию ионной связи между силикатной и органической фазой. Наличие химического взаимодействия между фазами наполнителя подтверждается данными ИК-спектроскопии.

Полученный наполнитель вводили в порошок полиамида 6 (ПА6); для сравнения использовали образцы ПА6, наполненные стандартным диоксидом кремния – белой сажей марки БС-30. Влияние разработанного наполнителя на свойства ПА6 в сравнении с диоксидом кремния иллюстрируют данные, приведенные в таблице.

Влияние органосиликатного наполнителя на свойства ПА6

Характеристика	ПА6	ПА6 + 5 мас. % наполнителя	ПА6 + 5 мас. % SiO ₂
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	65	118	92
Водопоглощение за 48 ч, %	4,2	1,8	3,5
Температура начала плавления, °С	218	228	225
Температура начала потери массы, °С	359	378	364

Как следует из представленных данных, введение разработанного наполнителя в полимерную матрицу позволяет увеличивать механическую прочность, термостойкость и значительно снижать водопоглощение получаемого композиционного материала. Это позволяет расширять эксплуатационные возможности ПА6 и применять его для разработки деталей механизмов, работающих в условиях повышенных температур, механических нагрузок и влажности, в частности при воздействии атмосферных факторов.

УДК 539.3

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Е. А. Голубева, Р. А. Аль-Абси, М. Ю. Бокий

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

На современном этапе развития техники актуальна проблема широкого применения элементов деталей из композитов в машиностроении и других отраслях промышленности.

В представленном докладе рассматриваются теоретические и экспериментальные результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций, состоящих из композиционных материалов, обладающих реологическими свойствами, изменяющимися во времени. Для решения задач использовали метод математического моделирования в вязкоупругой постановке решения. Следует отметить, что выбор ядер наследственности для формирования интегральных математи-

ческих моделей, обеспечивающих принципиально допустимую адекватность отображения зависимости напряжения и деформации в материалах с учетом явлений ползучести и релаксации, является одним из самых важных моментов построения математической модели [1]. В работе использовали интегральные модели Больцмана–Вольтерра, связывающие напряжения и деформации, и слабосингулярное ядро Ржаницына–Колтунова [2]:

$$R(t) = Ae^{-\lambda t} t^{\alpha-1}.$$

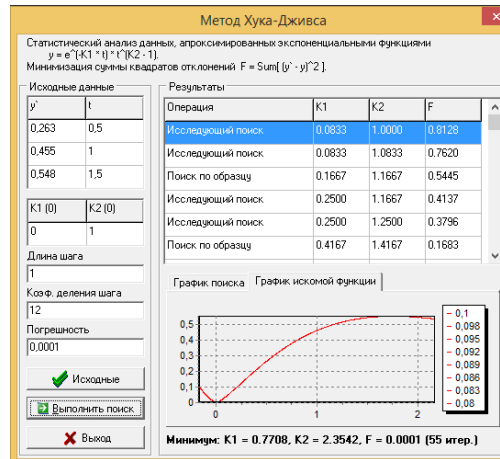


Рис. 1. Метод минимизации функции без ограничений прямым поиском по Хуку и Дживсу

Рассмотрена задача о НДС конструкций из композиционных материалов с учетом явлений вязкоупругости, а также выполнена практическая оценка сходимости полученных результатов в сравнении с результатами других исследователей. В результате проведенных экспериментов получены кривые деформирования конструкционных материалов, которые учитывают явления ползучести и релаксации. Созданы алгоритм и компьютерная программа в среде Delphi, позволяющая методом минимизации функции без ограничений прямым поиском по Хуку и Дживсу реализовывать расчет НДС конструкций из композиционных материалов с учетом явлений вязкоупругости.

Л и т е р а т у р а

1. Кристенсен, Р. Введение в теорию вязкоупругости / Р. Кристенсен. – М. : Мир, 1974. – 338 с.
2. Можаровский, В. В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Минск, 1988. – 271 с.

УДК 621.77.01

ОСОБЕННОСТИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ВЫСОКИХ ПОЛОС В ЯЩИЧНОМ КАЛИБРЕ

И. В. Астапенко, Д. М. Васильков

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

При горячей прокатке высоких полос в ящичных калибрах возникают характерные зоны очага деформации, отличные от прокатки на гладких валках. Они

вливают на характер и длительность стадий процесса прокатки, а также на формирование механических свойств полосы. Определение закономерностей геометрии очага деформации и длительности стадий горячей прокатки высоких полос позволит точно установить длину обрезки переднего и заднего концов раската после черновой группы клетей непрерывных станов и получать прокат с требуемыми механическими характеристиками без их изменения по длине проката.

Цель работы – с помощью исследования напряженно-деформированного состояния очага деформации горячей прокатки высоких полос в ящичном калибре определить зональность очага деформации и стадии прокатки с целью определения оптимальной длины обрезки концов раската после черновой группы клетей стана 370/150 ОАО «БМЗ».

Задачи исследования:

1. Провести численные эксперименты процесса горячей прокатки высокой полосы в ящичном калибре вертикальной клетки № 1 черновой группы в соответствии с технологическими условиями стана 370/150 ОАО «БМЗ» при характерном ряде обжатий.

2. Выполнить анализ полученных результатов численного моделирования и определить:

а) характер и параметры зон очага деформации;

б) стадии процесса прокатки и их длительность для определения длины концов полосы с нестабильными механическими характеристиками.

Для решения поставленных задач был применен способ численного моделирования методом конечных элементов. Построена численная модель прокатки в соответствии с действующей геометрией калибра (рис. 1) и технологическими режимами для клетки № 1 стана 370/150 при прокатке непрерывнолитой заготовки 300×250 .

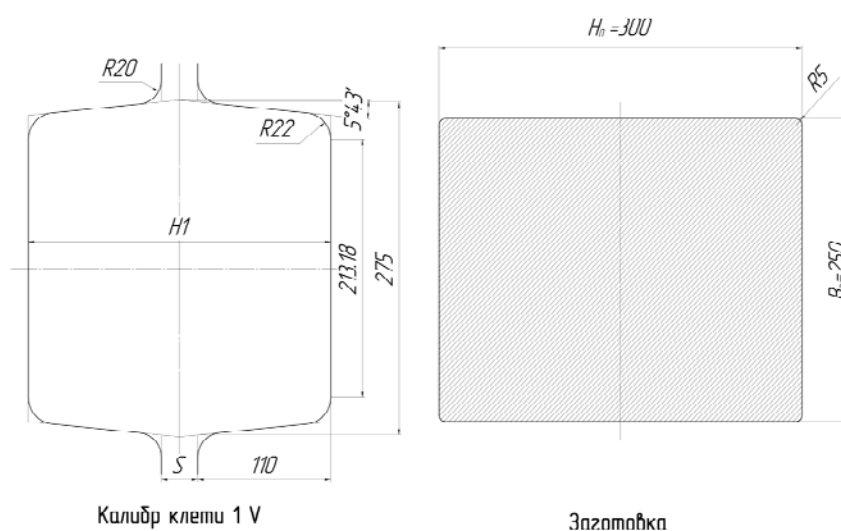


Рис. 1. Геометрия калибра клетки № 1V черновой группы стана 370/150 и размеры непрерывнолитой заготовки: H_1 – изменяемая высота полосы, мм; S – изменяемый межвалковый зазор, мм

При прокатке высоких полос напряженно-деформированное состояние определяют не контактные напряжения трения, как при прокатке средних и тонких полос, а приконтактные внешние зоны [1]. Установившийся режим наступает после формирования переднего «жесткого конца» и заканчивается потерей устойчивых парамет-

ров задним концом. Ключевым параметром влияния на эти процессы является отношение длины дуги контакта к средней высоте полосы (l_d/H_{cp}). Длина дуги контакта при прокатке высокой прямоугольной полосы в ящичном калибре – параметр условный, определяемый из соотношения и формы зон контактной поверхности (рис. 2).

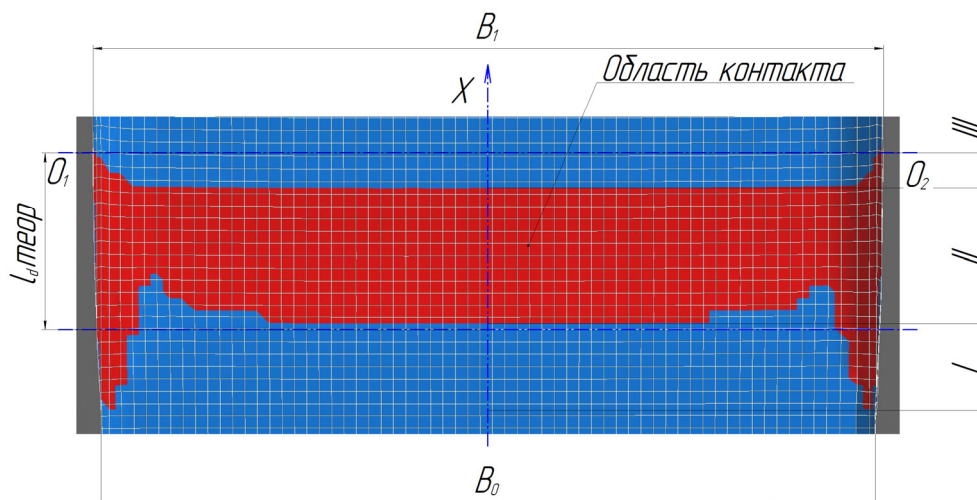


Рис. 2. Очаг деформации в калибре клетки № 1: O_1-O_2 – плоскость осей валков; X – ось прокатки; B_0, B_1 – исходная и конечная ширина полосы; I – зона контакта по выпускам калибра на входе в очаг деформации (ОД), II – зона одновременного контакта по выпуску и дну калибра, III – зона контакта по выпускам калибра на выходе из ОД; $l_{d\text{теор}}$ – теоретическая длина дуги контакта

Для анализа влияния внешних зон были выполнены 8 численных экспериментов с соотношением $l_d/H_{cp} = 0,1-0,7$. Эта область соотношений соответствует условиям прокатки в черновой группе клеток стана 370/150 ОАО «БМЗ» и большинства других современных непрерывных мелкосортно-проволочных прокатных станков. Результаты численных экспериментов представлены в таблице.

Параметры и результаты эксперимента

Параметр	Результаты эксперимента								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Конечная высота H_1 , мм	298	289,77	277,899	270,667	262,774	245,333	226,596	207,283	
Длина дуги прокатки l_d , мм	по дну калибра	27,62	48,09	67,79	78,83	89,33	110,7	130	147,8
	по выпуску	68,89	88,71	117,7	126	139,4	157,6	176,6	192,1
Фактор формы ОД $l_{d\text{теор}}/H_{cp}$	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	
Усилие прокатки P , кН	504,72	809,534	1207,22	1396,95	1592,85	1948,07	2271,56	2594,4	
Момент прокатки M , кН · м	8738,1	33309,7	66767,8	86597,1	108440	157651	212230	273871	
Время до установившегося режима t , с	2,1057	2,104	2,11914	2,09737	2,12869	2,10256	2,19385	2,18294	

Для среднего и крайних значений фактора формы ОД ($l_d/H_{cp} = 0,1; 0,35; 0,7$) был построен график зависимости усилия прокатки P (рис. 3). Он позволяет определить начало установившегося режима и длину переднего конца полосы с нестабильными механическими свойствами, подлежащего обрезке.

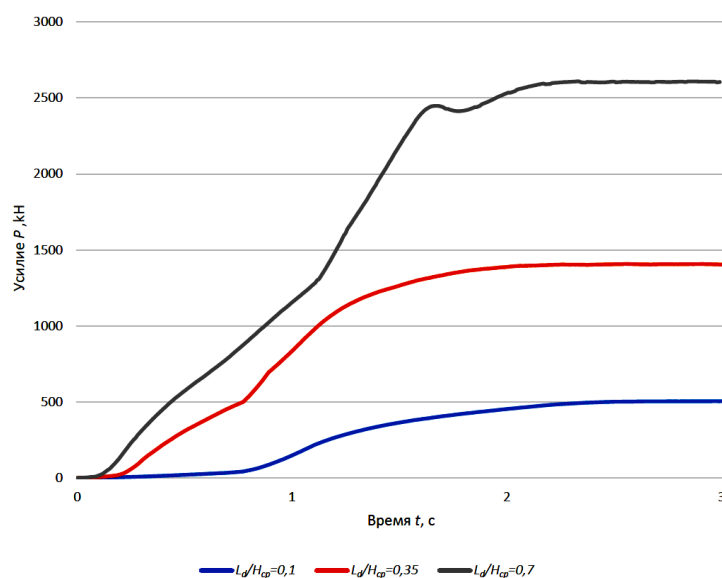


Рис. 3. Зависимость усилия прокатки P от времени прокатки для различных значений фактора формы ОД (l_d/H_{cp})

Таким образом, независимо от фактора формы ОД (l_d/H_{cp}) установившийся режим наступает после формирования переднего жесткого конца в одинаковом временном интервале (2,1–2,2 с) с момента начала контакта полосы с валками. Поскольку скорость прокатки для всех численных экспериментов одинакова и соответствует действующему технологическому процессу $v_n = 0,16$ м/с, длина обрезки определяется расчетом по известным формулам с учетом опережения и отставания. Для заднего конца полосы зависимости аналогичны.

Литература

1. Клименко, П. Л. Контактные напряжения при прокатке / П. Л. Клименко, В. Н. Данченко. – Днепропетровск : ПОРОГИ, 2007. – 285 с.

УДК 620.178.746.22

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНОГО КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СТАЛЕЙ 08X18+08X18N10

Д. В. Власова, А. И. Плохих

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана (Национальный Исследовательский
Университет), Российская Федерация

Такой области промышленности как машиностроение требуются материалы с высокими характеристиками конструкционной прочности. Использование многослойных материалов дает существенное преимущество перед монометаллическими

при создании перспективных образцов техники. В частности, с точки зрения механических свойств в многослойных материалах могут быть достигнуты высокие значения прочности и ударной вязкости одновременно [1], [2]. К числу таких материалов можно отнести конструкционные металлические материалы, получаемые на основе синтеза многослойных композитных заготовок. Проведенные исследования показали, что получение такой структуры в материале, созданном на основе одного металла, возможно в том случае, если при температуре прокатки сплавы имеют различное кристаллическое строение [3].

В качестве основных объектов исследования была выбрана композиция многослойных заготовок, состоящая из 100 попеременно чередующихся между собой слоев сталей с толщиной каждого 0,5 мм (по 50 слоев каждой марки) 08X18 и 08X18H10. По экспериментальному технологическому маршруту, включающему мерную резку заготовок из листов, обработку их поверхности, сборку нарезанных листов в пакет, вакуумирование пакета и последующее пластическое деформирование горячей прокаткой, изготовлены заготовки листового сортамента толщиной 2 мм [3]. Указанная композиция прошла два полных технологических цикла.

Исследование свойств образцов композиции 08X18+08X18H10 показало, что благодаря наличию многослойной ламинарной структуры формируется весьма необычное сочетание механических характеристик (см. таблицу). Для данного типа конструкционных материалов характерным является пониженный модуль упругости, а также то, что незначительное повышение предела прочности с увеличением количества слоев в материале сопровождается значительным ростом твердости и резким падением характеристик пластичности. Наряду с этим запас ударной вязкости в этих материалах, определенный на образцах типа 14 (ГОСТ 9454–78), вырезанных в направлении, перпендикулярном направлению проката, оказывается весьма значительным, особенно при увеличении количества слоев до 1400–2400. Отдельно стоит отметить, что при понижении температуры ударных испытаний до –196 °С наблюдается рост ударной вязкости по сравнению с испытаниями, проведенными при комнатной температуре.

Механические свойства композиции 08X18 + 08X18H10

Композиция	Количество слоев	Толщина слоя, мкм	E, ГПа	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	НВ	KCV, Дж/см ²
				МПа		%			
08X18 + 08X18H10	100	20	160	520	780	8,0	43	80	160
	1400–2400	1,4–0,8	170	660	800	4,5	48	370	250
			–	–	–	–	–	–	360*

*Испытание проведено при температуре –196 °С.

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить, что такое сочетание характеристик делает этот и подобные ему материалы перспективными для различных изделий с высокими требованиями характеристик надежности, в том числе при климатическом и криогенном холоде.

Л и т е р а т у р а

1. Interface Effects on the Fracture Mechanism of a High-Toughness Aluminum-Composite Laminate / С. М. Cepeda-Jiménez [et al.] // Metall. Mater. Trans. A. – 2009. – № 40. – P. 69–79.

2. Osman, T. M. Crack bridging in a laminated metal matrix composite / T. M. Osman, P. M. Singh, J. J. Lewandowski // Scripta Metall. Mater. – 1994. – № 31. – P. 607–612.
3. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки / А. Г. Колесников [и др.] // МиТОМ. – 2010. – № 6. – С. 44–49.

УДК 621.778

ВЛИЯНИЕ НАТЯЖЕНИЯ МЕТАЛЛОКОРДА ПРИ НАМОТКЕ НА ЕГО ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ

Ю. В. Мартьянов

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

Для повышения прямолинейности металлокорда используются роликовые деформаторы, которые устанавливаются в канатных машинах в узле намотки металлокорда на приемную катушку [1]. Использование деформаторов является эффективным способом повышения прямолинейности металлокорда [2]. Одним из параметров технологического процесса производства металлокорда, которая влияет на прямолинейность металлокорда, является величина натяжения металлокорда перед его намоткой на приемную катушку.

Цель исследования: определить влияние величины натяжения металлокорда перед его намоткой на приемную катушку на прямолинейность металлокорда после выдержки.

Метод исследования: численное моделирование изгиба металлокорда в деформаторе с варьированием величины натяжения.

Металлокорд представляет собой объемную спираль с заданным шагом спиральной линии согласно требованиям.

Численное моделирование производится в следующей последовательности:

1) свивка металлокорда с необходимыми технологическими параметрами и соблюдением степени деформации при свивке;

2) изгиб свитого металлокорда на деформирующем ролике с растягивающей нагрузкой в направлении $\pm Z$.

В моделировании приняты следующие положения:

– за основу взят металлокорд конструкции 2х0,25УТ;

– деформирующий ролик принят жестким телом;

– деформирующий ролик принят без геометрических особенностей, т. е. гладким;

– моделирование считается законченным, когда деформирующий ролик имеет полный контакт хотя бы с одним шагом металлокорда;

– расчет ведется без учета скорости намотки металлокорда на приемную катушку;

– в численном моделировании коэффициент трения является константой.

Выходными параметрами являются эквивалентные напряжения от изгиба металлокорда на деформирующем ролике, смещения проволок в конструкции металлокорда, выраженные в изменении положения точек контакта проволок при изгибе на деформирующем ролике.

В модели учитываются напряжения и деформации, полученные в результате свивки. В конструкции металлокорда имеется контакт между проволоками. В процессе изгиба металлокорда на деформирующем ролике появляются эквивалентные напряжения изгиба, а также смещения точек контакта проволок в конструкции металлокорда.

Значение натяжения металлокорда варьировалось от 10 до 20 Н с дискретностью 1 Н. Для каждой точки вычислен критерий Sg для качественной оценки прямолинейности металлокорда [3]. Результаты представлены в виде гистограммы на рис. 1.



Рис. 1. Зависимость критерия Sg от натяжения металлокорда 2x0,25UT перед намоткой

Определено, что влияние натяжения на прямолинейность имеет нелинейный характер. Нелинейность изменения критерия Sg в зависимости от величины натяжения объясняется влиянием конструкции металлокорда на осевой сдвиг (перемещение в направлении оси $\pm Z$). Натяжение может являться одним из параметров для корректировки режима производства металлокорда с повышенным значением его прямолинейности. Использование малого натяжения не рекомендуется по причине возможного брака металлокорда вследствие снижения плотности свивки.

Для металлокорда 2x0,25UT при использовании деформирующего ролика диаметром 45 мм натяжение 17 Н повышает Sg, что снижает прямолинейность металлокорда по сравнению с другими значениями натяжения металлокорда перед намоткой и таким же диаметром ролика.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Определен подход к построению численной модели изгиба металлокорда в деформаторе.
2. Смещения точек контакта проволок в конструкции металлокорда в направлении оси $\pm Z$ могут оказывать влияние на прямолинейность металлокорда.
3. Определено влияние натяжения металлокорда перед его намоткой на приемную катушку на прямолинейность с помощью критерия Sg.

Л и т е р а т у р а

1. Бобарикин, Ю. Л. Определение влияния диаметра ролика деформации металлокорда перед намоткой на прямолинейность металлокорда после намотки / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов, А. В. Веденеев // Пластична деформація металів : колективна монографія. – 2017. – С. 236–240.
2. Бобарикин, Ю. Л. Способы повышения прямолинейности металлокорда / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. Кн. 3 Обработка металлов давлением / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2017. – 129 с.

3. Веденеев, А. В. Зависимость прямолинейности металлокорда от параметров деформации перед намоткой на катушку / А. В. Веденеев, Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов ; под ред. В. В. Смильтиной. – М. : Центр. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исследований чер. металлургии, 2017. – С. 77–81.

УДК 621.778

ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕФОРМАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ МЕТАЛЛОКОРДА

Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов

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

Для повышения прямолинейности металлокорда после свивки и намотки на приемную катушку используются деформаторы [1].

Цель работы – оптимизировать деформатор для повышения прямолинейности металлокорда.

К параметрам деформатора металлокорда относятся: диаметр деформирующего ролика, угол охвата металлокордом деформирующего ролика.

Простейший деформатор состоит из одного направляющего ролика и одного деформирующего ролика, который называют роликом обратной деформации (РОД).

Методы исследования: численное моделирование с учетом натяжения металлокорда и степени деформации проволок при свивке в соответствии с технологией свивки; лабораторные испытания, метод локальной оптимизации.

Ключевым параметром деформатора, влияющим на прямолинейность металлокорда, является диаметр деформирующего ролика. Оптимальный диаметр деформирующего ролика обеспечивает высокую прямолинейность металлокорда после свивки [2].

В качестве параметра для поиска оптимального диаметра деформирующего ролика принято следующее предположение: оптимальный диаметр деформирующего ролика должен обеспечивать минимальную относительную разницу осевых смещений проволок совместно с минимальной относительной разницей эквивалентных напряжений в металлокорде при его изгибе в деформаторе. Выполнение данного условия обеспечит максимальную равномерность контактных взаимодействий между проволоками в конструкции металлокорда. Высокая равномерность контактных взаимодействий в металлокорде способствует снижению уровня отклонения от прямолинейности металлокорда.

Разработан подход, согласно которому рассчитывается комплексный критерий качественной оценки прямолинейности металлокорда при использовании деформирующих роликов деформатора различных диаметров. Для поиска оптимального диаметра деформирующего ролика критерий оценки должен быть минимальным. Выполнение этого условия обеспечивает устойчивый режим смещения точек контакта в конструкции металлокорда. Повышается равномерность изменения контактного взаимодействия между проволоками и изменения напряжений, возникающих при изгибе.

В лабораторных условиях были проверены варианты использования деформаторов с варьируемыми параметрами: диаметр деформирующего ролика и угол заправки металлокорда в деформатор. Диаметры деформирующих роликов для эксперимента были выбраны произвольно, исходя из имеющегося набора роликов с

диаметрами: 44, 46, 50, 52, 55 мм. Углы охвата металлокордом деформирующего ролика проверены в диапазоне от 0 до 2 оборотов (0; 0,46; 0,6; 1; 2 оборота) обеспечивались путем изменения положения деформирующего ролика в пространстве.

По результатам лабораторных испытаний по определению прямолинейности металлокорда наиболее предпочтительным является деформирующий ролик диаметром 43–44 мм и вариант заправки металлокорда в деформатор, обеспечивающий угол охвата, равный 0,9–1,1 оборота (324° – 396°). Полученные данные лабораторных испытаний по определению прямолинейности металлокорда соответствуют результатам численного моделирования по качественной оценке оптимизационного критерия. Из этого следует, что полученная модель адекватно и точно описывает процесс изгиба металлокорда на деформирующем ролике деформатора. Также это свидетельствует о корректности выбора оптимизационного критерия модели.

Использование деформирующего ролика рекомендуемого диаметра 43–44 мм снижает отклонение от прямолинейности металлокорда 2х0,30НТ в среднем на 30 % по сравнению с вариантом без использования деформатора.

Согласно данным, полученным в результате моделирования изгиба металлокорда на деформирующем ролике разного диаметра, а также в результате лабораторных испытаний определено:

1) на прямолинейность металлокорда после свивки оказывает влияние диаметр деформирующего ролика деформатора и способ заправки металлокорда в деформатор;

2) значение диаметра деформирующего ролика влияет на уровень напряжений в проволоках в конструкции металлокорда при изгибе и на величину осевых сдвигов проволоки в конструкции металлокорда;

3) для повышения прямолинейности металлокорда необходимо обеспечить равномерность смещения точек контакта проволок в конструкции и минимальное относительное изменение напряжений, возникающих при изгибе.

Дополнительно на относительное изменение изменения напряжений и смещение точек контакта проволок в конструкции металлокорда оказывает величина натяжения при намоте металлокорда на приемную катушку. Следовательно, этот параметр будет оказывать воздействие на прямолинейность металлокорда.

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 [и др.] // *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. Мартьянов // *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: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 531 с.
3. Бобарикин, Ю. Л. Влияние диаметра деформирующего ролика на макроперемещения в металлокорде / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов // *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, ГГТУ им. П. О. Сухого, филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого»; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 117–118.

УДК 621.785.92:620.178.167

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ У8А И 9ХС

И. Н. Степанкин¹, Е. П. Поздняков¹, В. А. Кукареко²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», г. Минск

На интенсивность изнашивания в условиях воздействия пульсирующих контактных напряжений большую роль оказывает соотношение фазовых составляющих сплавов. Для изготовления холодновысадочного инструмента, работающего при напряжениях свыше 1000 МПа, широкое применение получили инструментальные стали Х12М, Р6М5, Х6ВФ и др. При формировании рабочей поверхности пуансонов холодным выдавливанием крупные первичные карбиды могут дробиться, что приводит к появлению трещин уже на этапе формирования гравюры. В низколегированной 9ХС и углеродистой У8А сталях крупные включения отсутствуют. В такой ситуации важно учитывать влияние на стойкость инструмента других структурных составляющих сплавов, в том числе остаточного аустенита. Управляя его количеством, можно получить удовлетворительную стойкость инструмента за счет добавления вязкости при сохранении удовлетворительной твердости. Целью работы является установление влияния количества остаточного аустенита на структуру, твердость и износостойкость в условиях воздействия пульсирующих контактных напряжений инструментальных сталей У8А и 9ХС.

Методика проведения исследований. Объектами исследований являлись инструментальные стали 9ХС и У8А. Для получения необходимых механических свойств проводили термическую обработку (см. таблицу). Для определения влияния остаточного аустенита на стойкость сталей к контактному изнашиванию половина партий образцов подвергалась криогенной обработке, которую проводили в жидком азоте непосредственно после закалки. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностных слоях сплавов при многократном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [1].

Режимы термической обработки и твердость сталей 9ХС и У8А

Марка стали	Обозначение образцов	Термическая обработка				Твердость, НВ/НRC	Аустенит А _{ост} , об. %
		Температура закалки, °С	Охлаждающая среда	Криогенная обработка, °С	Температура отпуска, °С		
У8А	▲	780	вода	–	200	685/59,5	9±1
	Δ			–196		740/61,8	5±1
9ХС	◆	860	масло	–		730/61,4	5±1
	◇			–196		770/62,9	3±1

Установка обеспечивает контактное нагружение торцевой плоскости образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового

контртела. Исследования микроструктуры проводили на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Травление поверхности сплава осуществляли 3%-ным спиртовым раствором азотной кислоты. Твердость упрочненных сплавов определялась на твердомере Виккерса DuraScan 20 при нагрузке 98,07 Н. Фазовый состав поверхности упрочненных образцов определяли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.

Обсуждение результатов исследований. После термической обработки основу металлической матрицы инструментальных сталей У8А и 9ХС составил мартенсит отпуска и остаточный аустенит. Данные рентгенофазового анализа показали, что применение криогенной обработки позволило снизить объемную долю γ -фазы с 9 до 5 % в стали У8А и с 5 до 3 % в стали 9ХС. В стали 9ХС дополнительно присутствуют равномерно распределенные мелкодисперсные сферические карбиды размером не более 2 мкм, доля которых может достигать 10–11 % [2].

В результате испытаний образцов циклическими контактными напряжениями с амплитудой 1300 ± 65 МПа получены кривые износа, отражающие зависимость глубины лунки износа от числа циклов нагружения (рис. 1). Изнашивание стали У8А характеризуется 2 этапами (рис. 1, а). После этапа приработки длительностью 2 тыс. циклов следует этап высокой стойкости к изнашиванию. При наработке 30 тыс. циклов нагружения суммарная глубина лунки износа достигла 0,10 мм. Проведение криогенной обработки оказало существенное влияние на зависимость изнашивания – появлением этапа ускоренного износа, регистрируемого после 13 тыс. циклов нагружения. Это связано с уменьшением количества остаточного аустенита с 9 до 5 % после охлаждения до температур ниже конца мартенситного превращения, что повысило твердость, а, соответственно, и хрупкость стали.

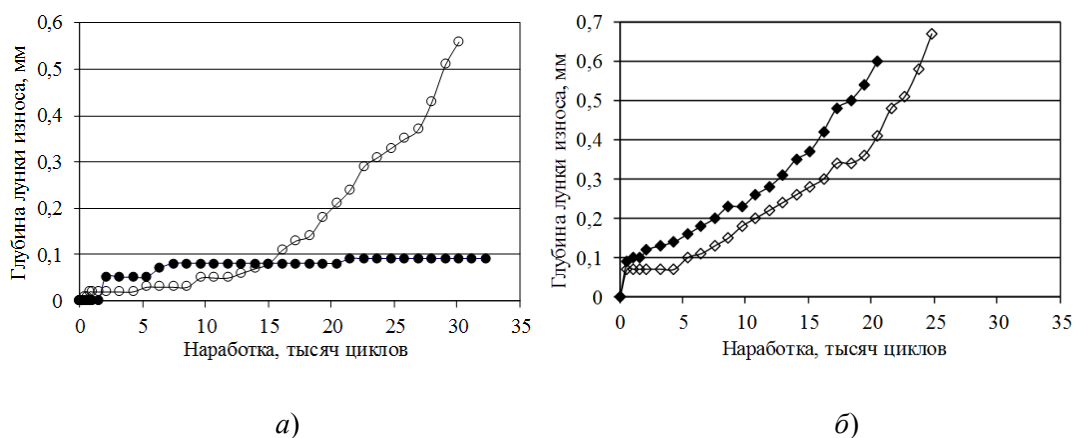


Рис. 1. Зависимости изнашивания от числа циклов нагружения стали У8А (а) и 9ХС (б) в процессе контактного нагружения амплитудой 1300 ± 65 МПа (светлыми маркерами обозначены стали, дополнительно подвергнутые криогенной обработке)

Испытаниями на контактную усталость определено, что сталь 9ХС при напряжениях 1300 ± 65 МПа обладает низкой стойкостью к изнашиванию (рис. 1, б). Это объясняется пониженным содержанием остаточного аустенита 5 % и легированием кремнием, который повышает твердость и предел текучести твердого раствора. Также повышенная концентрация кремния в стали может приводить к снижению значений энергии дефекта упаковки в ней [3], что в свою очередь увеличивает вероятность появления трещин при циклическом нагружении [4]. Указанные особенности снижают вязкость и трещиностойкость стали 9ХС. Охлаждение стали 9ХС ниже температуры конца мартенситного превращения способствует небольшому умень-

шению объемной доли γ -фазы с 5 до 3 %, которое практически не отражается на износостойкости материала. Изнашивание поверхностного слоя исследованных сталей сопровождается выкрашиванием и отслоением чешуек деформированного сплава с контактной поверхности образцов.

В результате проведенных испытаний на контактную усталость установлено, что при действии циклических контактных напряжений с амплитудой 1300 ± 65 МПа износостойкость стали У8А значительно превышает износостойкость стали 9ХС. Это связано с пониженным содержанием γ -фазы и дополнительным легированием стали 9ХС кремнием. Указанный легирующий элемент несколько снижает вязкость и трещиностойкость второго сплава. При этом проведение криогенной обработки снижает период высокой стойкости стали У8А и мало отражается на износостойкости стали 9ХС.

Л и т е р а т у р а

1. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : полез. модель 7093 U Респ. Беларусь : МПК G 01N 3/00 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов. – Оpubл. 28.02.2011.
2. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали : справочник / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
3. Вдовин, К. Н. Влияние энергии дефекта упаковки на абразивную стойкость отливок из стали Fe-12Mn-1,2C / К. Н. Вдовин, Д. А. Горленко, Н. А. Феоктистов // Изв. высш. учеб. заведений. Чер. металлургия. – 2016. – Т. 59, № 9. – С. 603–609.
4. Вишняков, Я. Д. Современные методы исследования структуры деформированных кристаллов / Я. Д. Вишняков. – М. : Металлургия, 1975. – 480 с.

УДК 621.7.014

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СПЛАВОВ ПРИ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКЕ ИЗ РАСПЛАВОВ

М. Н. Верещагин¹, М. Ю. Целуев², С. Н. Целуева¹

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель*

Большинство используемых на практике металлических материалов не находятся в термодинамическом равновесии. Возможность получения металлов и сплавов в метастабильном состоянии является одним из эффективных средств направленного воздействия на их физико-химические свойства. Предельным случаем термодинамической неустойчивости твердых металлов и сплавов является их некристаллическое, или аморфное, структурное состояние.

Твердое металлическое вещество с атомно разупорядоченной структурой получают «замораживанием» расплава, т. е. охлаждением его со скоростями, при которых процессы зарождения и роста кристаллических зародышей не успевают получить достаточного развития.

С точки зрения кинетики кристаллизации возможность образования аморфной структуры металлического сплава определяется частотой образования способных к росту зародышей кристаллической фазы, скоростью роста кристаллов и скоростью охлаждения расплава. Частота зарождения и скорость роста кристаллов определяются физико-химическими свойствами сплава, а скорость охлаждения – теплофизическими условиями его затвердевания.

Согласно теории Джонсона–Мела–Аврами [1] относительное количество X малой доли кристаллической фазы, образовавшейся за время t , в предположении постоянства частоты гомогенного зародышеобразования и роста сферических кристаллов определяется выражением

$$X = \frac{\pi}{3} I_{\text{гом}} U_k^3 t^4, \quad (1)$$

где $I_{\text{гом}}$ – частота гомогенного образования критического зародыша кристаллической фазы; U_k – скорость роста кристалла.

Из уравнения (1) получена зависимость для определения времени, необходимого при образовании заданного количества кристаллической фазы:

$$t = \frac{9,3\eta(T)}{kT} \sqrt[4]{\frac{a_0^9 X}{f^3 N} \frac{\exp\left(\frac{1,07}{T_{\text{от}}^3 \Delta T_{\text{от}}^2}\right)}{\left(1 - \exp\left(-\frac{\Delta T_{\text{от}} \Delta H_{\text{пл}}}{RT}\right)\right)^3}}, \quad (2)$$

где $\eta(T)$ – динамический коэффициент вязкости; a_0 – средний атомный диаметр компонентов сплава; $\Delta T_{\text{от}}$ – относительное переохлаждение; $\Delta H_{\text{пл}}$ – молярная теплота плавления; k – постоянная Больцмана; f – относительное количество узлов на поверхности растущего кристалла, в которых может происходить присоединение атомов из жидкости; $T_{\text{от}}$ – относительная температура; N – объемная концентрация атомов.

Равенство (2) позволяет построить зависимости температура–время–превращение (ТВП). Форма ТВП-диаграмм определяется конкурированием двух процессов, действующих в противоположных направлениях: увеличением движущей силы процесса кристаллизации с ростом переохлаждения и снижением подвижности атомов.

ТВП-диаграммы и кривые охлаждения были построены для сплавов следующих систем: Fe–Ni–Co–Cr–Mo–B–Si, Fe–Ni–Cr–Mo–Mn–Al–B–C, Fe–Al–P–C при спиннинговании их расплавов. Анализ кривых ТВП показал, что первые два сплава стали полностью аморфными в процессе спиннингования расплава при толщине изделия около 75 мкм. Наиболее легко аморфизирующимся сплавом является Fe–Al–P–C, для которого полностью аморфное изделие возможно при толщине более 200 мкм.

Л и т е р а т у р а

1. Аморфные металлические сплавы / под ред. Ф. Е. Люборского ; пер. с англ. – М. : Металлургия, 1987. – 584 с.
2. Дэвис, Г. А. Методы быстрой закалки и образование аморфных металлических сплавов / Г. А. Дэвис // Быстрозакаленные металлы : сб. науч. тр. / под ред. Б. Кантора ; пер. с англ. под ред. А. Ф. Прокошина. – М. : Металлургия, 1983. – С. 11–30.

УДК 621.777:004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СПЛАВА АК9+С МЕТОДОМ РКУП

А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, И. Е. Волокитина

Рудненский индустриальный институт, Казахстан

В настоящее время в мире намечена тенденция к возрастанию исследований в области создания и широкого применения металломатричных композиционных материалов. Наиболее дешевыми и надежными являются материалы на основе алюми-

ниевых сплавов, подвергнутых модифицированию и армированию тугоплавкими дисперсными частицами. Среди отличительных свойств таких материалов можно выделить высокие антифрикционные и прочностные свойства, жаропрочность, жесткость, малую плотность, которые обеспечивают существенное снижение массы изделий и конструкций, уменьшают расход материала на изделие с одновременным повышением надежности и увеличением ресурса их работы.

Поэтому в работе [1] исследовалась возможность замены при создании новых материалов дорогостоящего фуллерена на более дешевый фуллереносодержащий материал. Для получения разрабатываемых композитов использовалась литейно-деформационная технология, включающая смешивание порошковых компонентов шихты и проведение механоактивации полученной смеси, экструдирования шихты с получением лигатуры и получение композиционных материалов на основе алюминиевой матрицы при литье. Так как результаты исследований, проводимые в [1], не выявили принципиальных отличий в структурообразовании алюминиевых композитов, полученных с использованием дорогостоящих фуллеренов, в сравнении с композитами, полученными с использованием дешевых наноуглеродных материалов (фуллереновая сажа, фуллереновая чернь), а результаты исследования механических свойств выявили несущественные, но преимущества доэвтектического силумина АК9 модифицированного лигатурой, содержащей наноструктурированный углерод в виде фуллереновой черни и синтезированные частицы стеклоуглерода, образовавшиеся в процессе получения лигатуры, то исследования по изучению возможности процесса прессования алюминиевого композита в равноканальной ступенчатой матрице осуществляли именно для данного композита АК9+С.

В результате прессования силумина АК9+С модифицированного лигатурой при комнатной температуре происходит его разрушение. Поэтому выбор температуры и скорости деформирования для композиционного сплава АК9+С проводился с помощью dilatометра DIL805A/D фирмы «Baehr Thermoanalyse» (Германия).

При визуальном осмотре осаженных образцов при температурах до 450 °С просматривались небольшие трещины, которые располагались в основном в области максимальных растягивающих напряжений, также при скоростях деформирования превосходящих 1 мм/с в структуре наблюдаются микротрещины (рис. 1, в).

Микроструктура образцов, обжатых на 10 %, состоит из смеси эвтектических фаз, причем кристаллы эвтектического кремния сохраняют свою крупную игольчатую форму и только в некоторых местах происходит частичное дробление этих иголок (рис. 1, з). При увеличении обжатия до 60 % наблюдается сильное измельчение эвтектической смеси и кремнистой фазы (рис. 1, д), почти все иголки кремния дробятся на более мелкие части, структура представляет собой своеобразную матрицу с включениями иголок кремния.

Проведя анализ микроструктуры после термомеханической обработки – осадки на 60 % при температуре 450 °С, а затем нагреве до 500 °С и резком охлаждении было получено, что структура претерпела более существенные изменения. Кристаллы кремния приняли более округлую форму, а игольчатых выделений практически не осталось, но в расположении округлых зерен просматривается определенная ориентация, свойственная бывшим иголкам (рис. 1, е).

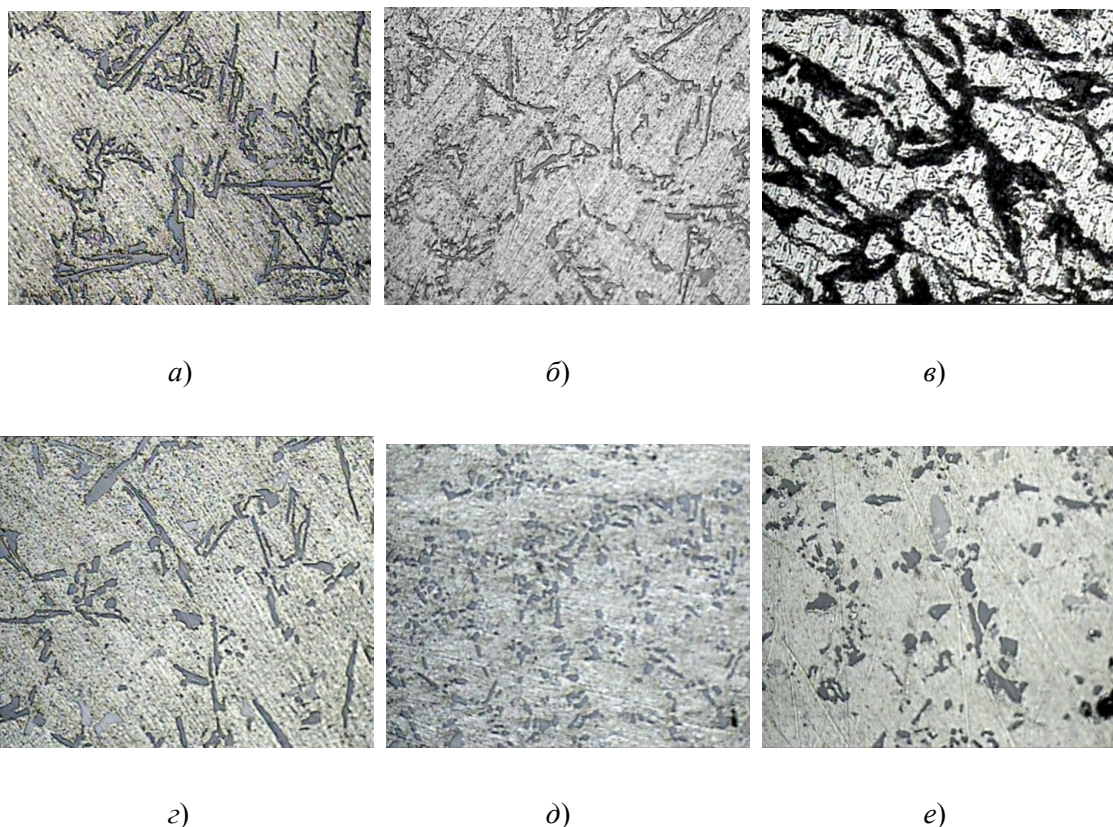


Рис. 1. Микроструктура образцов, полученных после исследований на dilatометре DIL805A/D, x1000

a – исходная; *б* – осадка на 10 % при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{деф}} = 1\text{ мм/с}$; *в* – осадка на 10 % при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{деф}} = 2\text{ мм/с}$; *з* – осадка на 10 % при $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{деф}} = 1\text{ мм/с}$; *д* – осадка на 60 % при $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{деф}} = 1\text{ мм/с}$; *е* – осадка на 60 % при $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{деф}} = 1\text{ мм/с}$, а затем нагрев до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и резкое охлаждение

Исходя из вышеизложенного, решено проводить процесс РКУП при температуре $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости деформирования 1 мм/с с нагревом заготовок до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ после каждого цикла деформирования. Нагрев силумина АК9+С модифицированного лигатурой до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ при РКУП показал возможность его пластического деформирования до 3 проходов, после чего образцы снова разрушались. Проведение трех циклов РКУП позволяет получать образцы без видимых разрушений.

Л и т е р а т у р а

1. Разработка и исследование литейно-деформационной технологии получения композиционных материалов на основе алюминиевой матрицы с применением углеродосодержащего ультрадисперсного сырья / Д. В. Куис [и др.] // Научно-технический прогресс в металлургии : тр. VIII междунар. науч.-практ. конф. – Темиртау, 2015. – С. 279–292.

УДК 537.531:678.073:678.046

**МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ
РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА**

В. А. Банный¹, И. В. Царенко², С. И. Красюк²

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», Республика Беларусь*

²*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

В настоящее время обостряется проблема электромагнитного загрязнения, которое отрицательно влияет на организм человека и создает помехи работе радиотехнического оборудования. Перспективным средством решения указанной проблемы является применение электромагнитных экранов (ЭМЭ) из радиопоглощающих материалов (РПМ) [1], [2]. Их разработка представляет собой междисциплинарную задачу, находящуюся на стыке физики и технических наук, прежде всего, материаловедения и технологии композитов. Создание высокоэффективных и дешевых РПМ, функционирующих в широком СВЧ диапазоне и применяемых в ЭМЭ с помощью высокопроизводительных технологий, является актуальной задачей.

Существующая номенклатура композитных РПМ включает множество материалов, изготавливаемых по оригинальным технологиям, представляющим ноу-хау фирм-производителей. Свою нишу среди современных РПМ занимают композиты на основе конструкционных крупнотоннажно выпускаемых термопластов, в частности, полиэтилена (ПЭ) и функциональных наполнителей (ФН). Такие РПМ привлекают малой удельной массой и технологичностью [3], [4].

Цель работы заключается в оптимизации составов материалов для ЭМЭ на основе ПЭ и ФН. Для этого изучалось влияние наполнителей на основные радиофизические и физико-механические характеристики РПМ. Применение термопластов в качестве связующего РПМ и ЭМЭ целесообразно технологически и экономически: позволяет внедрить высокотехнологичные производственные методы переработки полимерных композитов (экструзию, литье под давлением, термическое прессование); снизить удельную массу экранирующих конструкций; повысить качество и упростить технологию формирования экранов; изменять структуру и конфигурацию ЭМЭ в широких пределах; обеспечить требуемый комплекс их физико-механических и других эксплуатационных характеристик с минимальными затратами.

Объектами исследований служили пленочные и листовые композитные РПМ на основе крупнотоннажного термопластичного полимера – ПЭ (ГОСТ 16803–070, ГОСТ 16337–77). Для наполнения ПЭ использовали: скрытокристаллический естественный графит марки ГЛС-1 (ГОСТ 17022–81), коллоидно-графитный препарат С-1 (ГОСТ 5.1385–72), графит тигельный ГТЗ (ГОСТ 4596–75), графит терморасширяющийся ТРГ марки Graft EG-350. Графит относится к типовым электропроводящим порошкообразным наполнителям РПМ наряду с углем, сажей, металлами (сталь, чугун, железо, алюминий, кобальт, свинец, цинк, олово, медь и др.), солями металлов со сферической, цилиндрической, чешуйчатой и другой формой частиц.

Параметры экранирования и ослабления энергии СВЧ-излучения, проходящего через исследуемые образцы РПМ, оценивали рефлектометрическим методом по коэффициенту отражения (R) и ослаблению (S) энергии СВЧ-излучения в диапазоне

частот 5,6–12,0 ГГц при нормальном падении электромагнитной волны (ЭМВ) в волноводных трактах измерителей Р2-60 и Р2-61. Индикатор измерителя КСВН и ослабления Я2Р-67 позволяет наблюдать на экране электронно-лучевой трубки частотные характеристики КСВН и ослабления и производить отсчет измеряемых величин по шкалам отсчетного устройства в автоматическом и ручном режимах перестройки частоты генератора СВЧ.

Исследуемый образец РПМ прямоугольного сечения помещали в волноводный тракт измерителя, собранного по схеме измерения ослабления или КСВН. При неполном отражении в линии, что имеет место при внесении образца РПМ, устанавливается режим, при котором результирующие возмущения можно представить как сумму стоячей и бегущей волн. Степень приближения к режиму стоячей волны в этом случае характеризует коэффициент стоячей волны, численно равный отношению амплитуд напряженностей электрического (магнитного) поля в точках линии, соответствующих пучностям и узлам стоячей волны. Для калибровки прибора и измерения КСВН использовали короткозамыкатель – металлическую пластину, коэффициент отражения которой принимали равным единице (или 100 %), для измерения ослабления энергии электромагнитного излучения (ЭМИ) использовали согласованную нагрузку как окончательный поглощающий элемент.

При разработке РПМ и ЭМЭ их эффективность экранирования ЭМИ определяется суммой величины поглощения экраном энергии излучения по механизмам магнитных, диэлектрических и джоулевых потерь, ее отражения на границе экрана с атмосферой и рассеяния вследствие многократных внутренних переотражений на межфазных поверхностях композита. Эффективность экранирования зависит от частоты источника излучения, его пространственного расположения по отношению к ЭМЭ, а также от структуры и электрофизических свойств материала экрана.

Установлено, что введение графитовых наполнителей в полиэтиленовую матрицу позволяет улучшить радиопоглощающие свойства материала. Это обусловлено электрофизическими свойствами графита, дисперсностью, формой частиц, степенью наполнения и распределением частиц в ПЭ матрице. Эксперименты позволили определить оптимальную степень наполнения ПЭ матрицы графитом (40–60 мас. %), при которой величина коэффициента отражения от поверхности РПМ минимальна, а ослабление энергии ЭМИ максимально (10–15 дБ) при постоянной толщине листовых образцов (3 мм). При соблюдении этого условия отпадает необходимость в наружных радиопрозрачных покрытиях на радиопоглощающих элементах, которые наносят с целью согласования волновых сопротивлений элемента и атмосферы. Покрытия выполняют лишь технологические и защитные функции, обуславливающие повышение технического ресурса ЭМЭ.

Литература

1. Банний, В. А. Электромагнитные экраны как средство решения проблемы электромагнитной безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций / В. А. Банний // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2014. – Т. 9, № 1. – С. 26–33.
2. Банний, В. А. Применение полимерных радиопоглощающих материалов в решении проблемы электромагнитной безопасности / В. А. Банний, В. А. Игнатенко // Проблемы здоровья и экологии. – 2016. – № 3 (49). – С. 9–13.
3. Банний, В. А. Радиопоглощающие материалы на основе наполненного полиэтилена / В. А. Банний, И. В. Царенко // Вестн. Гомел. гос. ун-та им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 3–6.
4. Современные материалы и способы защиты биологических объектов от воздействия электромагнитных полей и излучений / В. А. Банний [и др.] // Проблемы здоровья и экологии. – 2018. – № 2 (56).

УДК 547.458.61

ПОЛУЧЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ

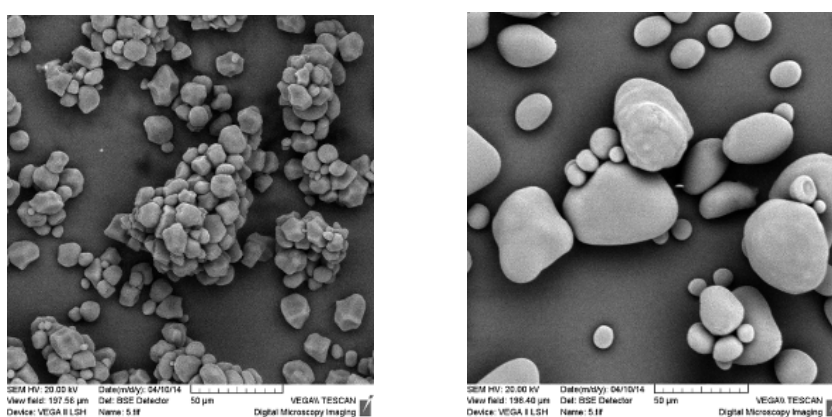
О. В. Давыдова¹, Н. Е. Дробышевская¹, Е. Н. Подденежный¹,
А. А. Бойко¹, В. М. Шаповалов²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель

В настоящее время разработка и создание композиционных полимерных материалов (КПМ) – одно из наиболее перспективных направлений современного полимерного материаловедения [1]. Особым интересом в последнее время пользуются биоразлагаемые и биокompостируемые пластики и композиционные материалы, которые после их использования в особых условиях распадаются на безопасные для окружающей среды компоненты. В отличие от большинства пластмасс, биоразлагаемые полимеры могут расщепляться в условиях окружающей среды с помощью микроорганизмов, таких как бактерии или грибки. Полимер, как правило, считается полностью биоразлагаемым, если вся его масса разлагается в почве или воде за период в шесть месяцев.

Одними из первых биополимеров были получены материалы на основе крахмала из различных видов растительного сырья-картофеля, кукурузы, пшеницы, риса. Крахмал – полисахарид, накапливаемый в процессе жизнедеятельности растений в их клубнях, семенах, стеблях и листьях. Основными источниками для его промышленного производства являются картофель, рис, пшеница, кукуруза. В растениях крахмал присутствует в виде гранул, диаметр которых колеблется от 5 до 100 мкм (рис. 1).



а)

б)

Рис. 1. СЭМ-изображение гранул кукурузного (а) и картофельного (б) крахмала (увеличение одинаковое)

В НИЛ технической керамики и наноматериалов ГГТУ им. П. О. Сухого совместно с сотрудниками Института механики металлополимерных систем имени В. А. Белого

НАН Беларуси (г. Гомель) проводятся работы по созданию и исследованию композиционных материалов на основе пищевых крахмалов и синтетических полимеров, изучаются новые совмещающие агенты (компатибилизаторы) и пластификаторы [2].

Для получения экспериментальных образцов биоразлагаемых материалов на основе термопластифицированного кукурузного крахмала, гранулированного и порошкообразного полипропилена были использованы следующие реагенты и сырье: крахмал кукурузный пищевой (нативный); сорбитол; этиленгликоль – биоразлагаемый пластификатор; полипропилен порошкообразный, размер зерна 0,3–0,5 мм; полипропилен гранулированный белый; полиэтилен высокого давления ПЭВД (низкоплотный); малеиновый ангидрид.

В качестве наполнителей применяли диоксид титана TiO_2 , активированный уголь, белый ПП.

Для приготовления исходной смеси крахмала с синтетическими полимерами использовали «холодное» смешивание в высокоскоростном блендере с добавлением лубрикантов – полиэтиленового воска и растительных масел. Полученная смесь после перемешивания поступает в двухшнековый экструдер TSK-35/40 (PRC) для гомогенизации. Температура расплава на выходе из головки экструдера с цилиндрическим отверстием $D = 5$ мм составляет 150–170 °С. Полученные жгуты охлаждают потоком холодного воздуха и разрезают на гранулы размером 3–5 мм. Из полученных гранул методом плоскощелевой экструзии при температуре 150–170 °С изготавливают пленку или лист (рис. 2).



Рис. 2. Фотографии гранулированного материала (1) и ленты (2), полученной на основе кукурузного крахмала, сорбитола, белого полипропилена, с использованием компатибилизатора-малеинового ангидрида

Испытания на прочность и относительное удлинение проводили на разрывной машине РМИ 5 на образцах биоразлагаемого материала, вырезанных из образцов, полученных с использованием кукурузного крахмала и сорбитола, используемого в качестве основного пластификатора. Испытания проводили при комнатной температуре.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Разработаны составы экспериментальных образцов биоразлагаемых полимеров на основе кукурузного крахмала и пластификаторов – сорбитола, этиленгликоля, в смеси с различными синтетическими полимерами и минеральными наполнителями.

2. Разработана методика изготовления экспериментальных образцов в форме гранул и ленты с использованием сухих смесей крахмала с полимерами с добавлением пластификаторов и лубрикантов.

3. Проведены испытания физико-механических характеристик полученных образцов на предел прочности на разрыв и относительное удлинение. Испытания пока-

зали, что полученные материалы по физико-механическим характеристикам находятся на уровне коммерческих композиционных пластиков на основе смесей кукурузного крахмала и полиолефинов (полиэтилена, полипропилена).

4. Биопластик на основе крахмала, сорбитола, этиленгликоля, малеинового ангидрида и полипропилена с добавлением полиэтилена низкой плотности ПЭВД показал наилучшие результаты: прочность на растяжение – 19,0 МПа, относительное удлинение – 250 %.

Л и т е р а т у р а

1. Полимерные композиционные материалы: прочность и технология / С. Л. Баженов [и др.]. – Долгопрудный : Интеллект, 2010. – 347 с.
2. Биоразлагаемые пластики на основе термопластифицированного крахмала и органических наполнителей / О. В. Урецкая [и др.] // Химия для биологии, медицины, экологии и сельского хозяйства : Междунар. симпозиум ISCHEM 2015, С.-Петербург, 24–26 нояб. 2015 г. / Ин-т химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН. – СПб., 2015. – С. 218.

УДК 539

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ОКСИДНЫХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ-ГОРЕНИЕ

**О. В. Давыдова, Н. Е. Дробышевская, Е. Н. Подденежный,
А. А. Бойко, В. Н. Шиленкова**

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

В НИЛ ТХН ГГТУ им. П. О. Сухого разрабатываются новые варианты получения люминесцентных материалов в виде наноструктурированных порошков оксида иттрия-цинка $Y_2O_3-ZnO:Eu$, легированных ионами европия, порошков иттрий-алюминиевого граната $YAG:Ce$ и алюминатов стронция-бария $Sr_xBa_{1-x}Al_2O_4$, активированных ионами P3Э.

Эти методы основаны на реакциях золь-гель-горение в восстановительной среде (сахарозе, лимонной кислоте, мочеvine, уксусной кислоте), совмещенных с процессами формирования органико-неорганических комплексных соединений.

Методика процесса синтеза заключается в смешивании азотнокислых солей в стехиометрическом отношении с органическим соединением-горючим, добавлением дистиллированной воды, перемешиванием ингредиентов до состояния однородного геля. Далее следует термическая обработка геля в сушильном шкафу при температуре 75–175 °С до формирования вспененного твердофазного прекурсора (30 мин), состоящего из гидратированного комплекса соответствующих оксидов и органических остатков. В сушильном шкафу из смеси быстро испаряется вода и происходит бурная химическая реакция горения. Полученный аэрогель подвергается термообработке при температуре 700–1200 °С (рис. 1).

При температурах 1100–1200 °С формируются наноструктурированные порошки: $YAG:Ce$, $Sr_xBa_{1-x}Al_2O_4$, $Y_2O_3-ZnO:Eu$.

Для получения красных люминофоров, возбуждаемых длинноволновым излучением (синяя область – 460 нм), формировали сложную оксидную матрицу Y_2O_3-ZnO , активированную ионами европия, а в качестве горючего в данном случае для получения тонких наноструктурированных порошков использовали гель на основе сахарозы. Концентрация модифицирующего оксида цинка составляла 30 мас. % и была выбрана исходя из предварительных экспериментов.

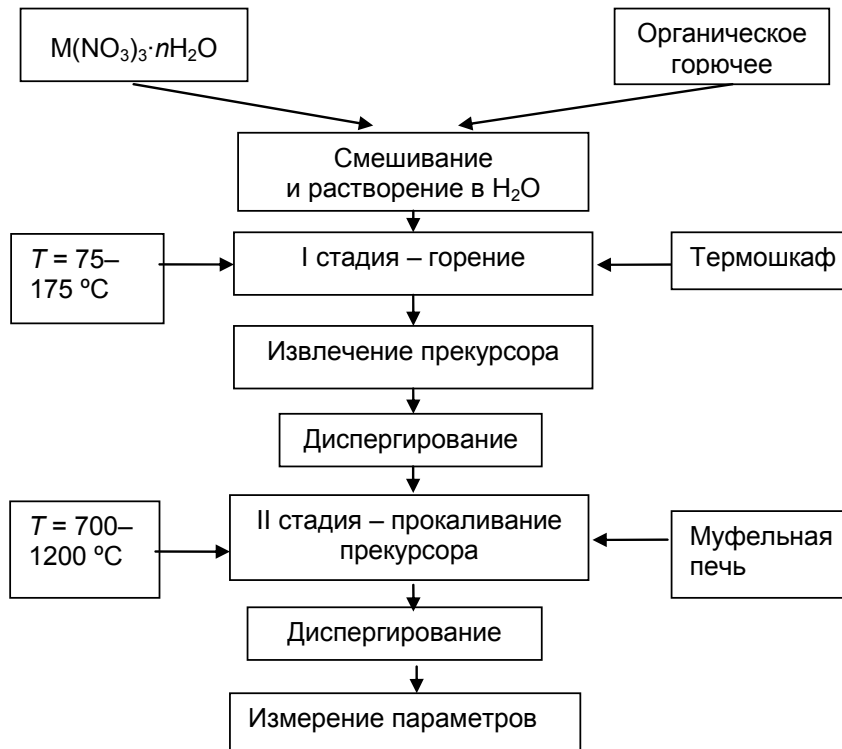


Рис. 1. Схема синтеза наноструктурированных люминесцентных оксидных порошков

Из рассмотрения СЭМ-изображений полученных порошков можно видеть, что образцы представляют собой рыхлые образования в виде агломератов от 0,1 до 5 мкм с разветвленной поверхностью, легко диспергируются в жидкостях и полимерах. Рентгенофазовый анализ подтвердил наличие во всех случаях кристаллической фазы оксида иттрия и фазы оксида цинка в соответствии с данными каталога JCPDS-1996 (карточка № 43-1036 и карточка № 36-1451) (рис. 2).

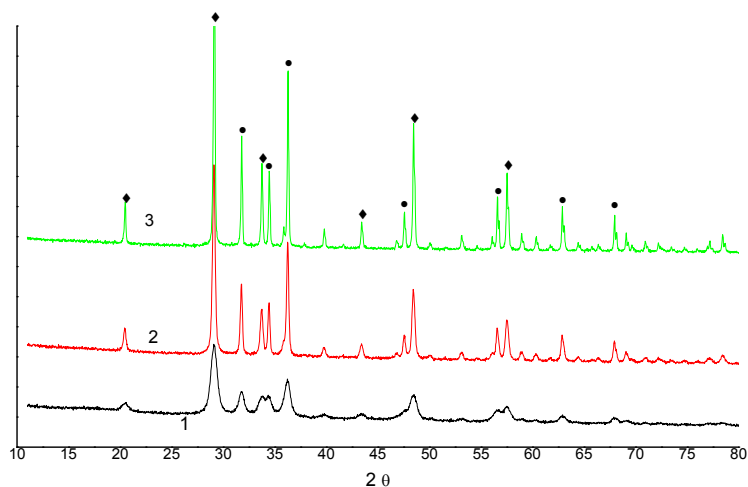


Рис. 2. Дифрактограммы смешанной кристаллической фазы оксида иттрия (♦) и фазы оксида цинка (●) при различных температурах прокаливания: 1 – 700 °C; 2 – 900 °C; 3 – 1100 °C

Анализ спектров люминесценции порошков Y_2O_3-Zn , проведенный в сравнении с литературными данными [1] при возбуждении на 467,7 нм (синяя область спектра), привел к заключению, что интенсивность излучения порошков в значительной степени зависит от температуры обработки прекурсора. Основным пиком при возбуждении образцов является люминесценция на 612 нм, вызванная сверхчувствительным электрическим дипольным переходом $^5D_0-^7F_2$, что характерно для наноразмерных образцов, а интенсивность люминесценции основного пика при обработке от 700 до 1100 °С возрастает в пять раз.

Полученные порошки YAG:Ce применяются в качестве люминофоров-преобразователей светодиодных осветительных приборов, наноструктурированные порошки $Sr_xBa_{1-x}Al_2O_4:Eu$ и $Y_2O_3-ZnO:Eu$ обладают интенсивной фотолюминесценцией под воздействием УФ-излучения ($\lambda = 270$ нм) и перспективны для применения в системах отображения информации и криптотехнике.

Литература

1. Cathodoluminescence change of $Y_2O_3:Eu$ phosphors by incorporation of Zn ions / S. N. Shin [et al.] // Solid state communications. – 2005. – № 135. – P. 30–33.

УДК 66:546.289

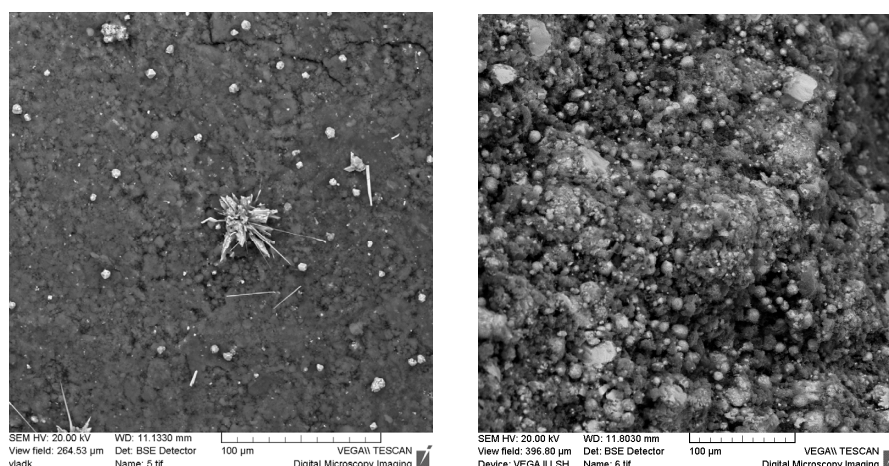
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИКИ И ПОЛУПРОВОДНИК-ДИЭЛЕКТРИК НА ОСНОВЕ КОМПАКТИРОВАННЫХ SiO_2 -ПОРОШКОВ

А. А. Алексеенко

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

Получение отдельно локализованных микро- и наночастиц металлов или полупроводников в «жестких» диэлектрических средах определяется особенностями химического взаимодействия вещества-допанта с окружающей матрицей-носителем. Концентрация вводимых веществ, на основе которых проводится «сборка» отдельных микро- и наночастиц, обычно составляет до 1 мас. %. Увеличение концентрации веществ-допантов вызывает или ситаллизацию формируемого композиционного материала (для металлов) или образование сложных оксокомплексов (при введении полупроводников, например, диоксида германия). Термообработка в водороде на температурах до 800 °С приводит к восстановлению металлов и полупроводников без их взаимодействия с матрицей-носителем. Дальнейшее повышение температуры может вызвать растворение металлов в SiO_2 -матрице или достаточно интенсивное испарение полупроводников (в нашем случае – Ge^0). Для молекулярных полупроводников этот процесс также может сопровождаться их термодеструкцией.

На рисунке 1 приводятся РЭМ-изображения поверхности таблеток состава $SiO_2:Ge^0$, сформированных отжигом в водороде при $T = 600$ °С (рис. 1, а) и $T = 800$ °С (рис. 1, б), соответственно. Видно, что при повышении температуры на 200 °С происходит процесс «сборки» восстановленного германия из микроразмерных агломератов частиц и сложнокристаллических дендритных образований в отдельно локализованные сферообразные микро- и наноразмерные частицы. На рис. 2 приводятся РФА-спектры, демонстрирующие процесс восстановления оксида меди $Cu(II)$ в восстановленную медь с частичным сохранением оксокомплексов $Cu(II)$.

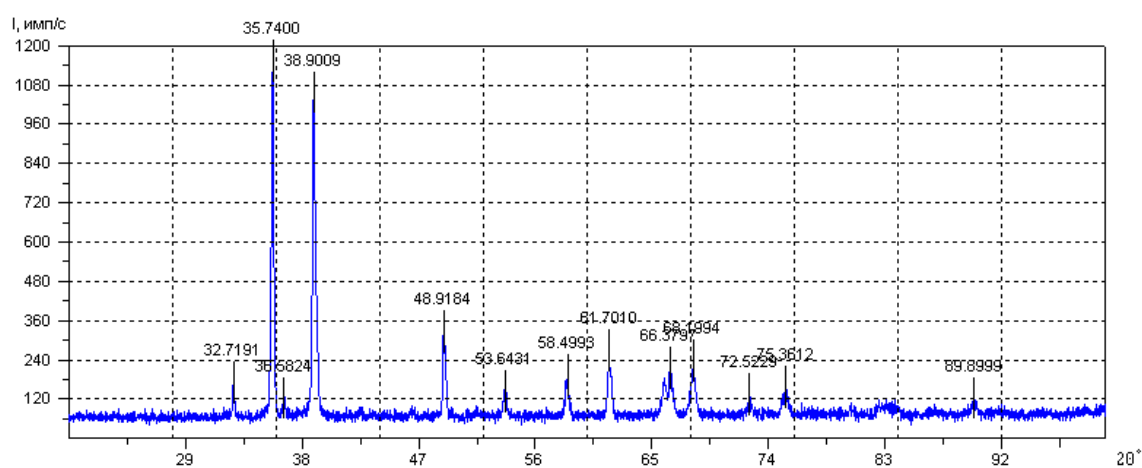


а)

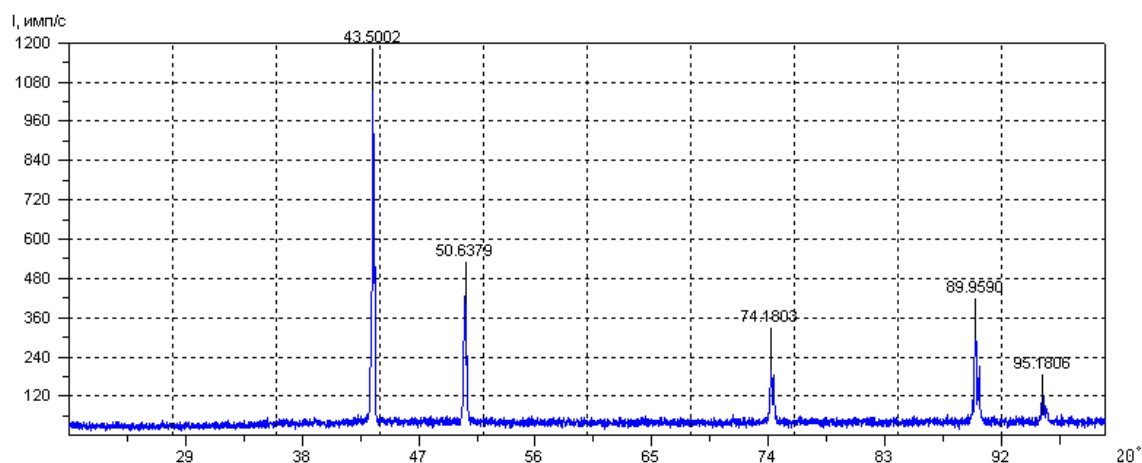
б)

Рис. 1. РЭМ-изображения наночастиц восстановленного германия, сформированных на основе $\text{GeO}_2:\text{SiO}_2$ -матриц, прошедших структурирующую обработку в среде водорода при $T = 600^\circ\text{C}$ и $T = 800^\circ\text{C}$ в течение 1 ч (на 1 часть GeO_2 приходилось 25 частей аэросила)

Относительно низкие температуры восстановления оксида меди и германия (согласно данным, полученным методами РФА и РЭМ), а также возможность формирования отдельных микро- и наночастиц Ge^0 , позволяют предложить механизм образования микрорезонаторов состава «ядро–оболочка», где ядром служит полупроводниковое соединение (в нашем случае восстановленный германий), а оболочкой – термически испаренная и осажденная на поверхность предварительно сформированных микро- и наночастиц восстановленная медь. Комплексное изучение изменения морфологии и стехиометрии сформированных материалов (под действием структурирующей термообработки в среде водорода) позволяет сделать предположение о том, что для таких сред возможно создать условие нелинейно-оптической «накачки» полупроводниковой микро- или наночастицы через эффект поверхностного плазмонного резонанса, что позволит использовать сформированные материалы в качестве активных сред при создании сенсорных элементов с высокой избирательной чувствительностью. Отдельно можно отметить, что таблетированные композиционные материалы разработанного состава могут быть применены для получения наноразмерных 2D (тонкопленочных) или 3D (сферообразных) сенсоров или газовых детекторов со стабильными по времени и воспроизводимыми функциональными характеристиками. Существующая возможность по управлению фазовым или элементным составом формируемых на их основе активных слоев позволяет на основе одной технологии (комбинирования золь-гель метода и нанотехнологических приемов) получать изделия с расширенными эксплуатационными характеристиками (в виде рабочих элементов для опто- и наноэлектроники).



а)



б)

Рис. 2. Преобразование двухвалентного оксида меди (а) в восстановленную медь (б) при отжиге в водороде в течение 1 ч на $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность формирования композиционных таблетированных материалов на основе высококремнеземных матриц, содержащих наночастицы восстановленного германия или трехкомпонентных систем состава $\text{SiO}_2\text{:Ge}^0\text{:Cu}^0(\text{CuO})$. Изучен характер «сборки» наночастиц восстановленного германия в микро- и наносферы по глубине таблетированного композиционного материала, получаемого методом одноосного прессования. Определены режимы частичного превращения оксида металла в его восстановленную форму (на примере двухвалентного оксида меди). Установлены условия управления процессом преобразования оксида меди Cu(II) в восстановленную медь (Cu^0) – в зависимости от режима его термообработки в среде водорода.

СЕКЦИЯ 3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.777;004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ МЕТОДОМ «ПРЕССОВАНИЕ–ВОЛОЧЕНИЕ»

С. Н. Лежнев¹, Е. А. Панин¹, И. Е. Волокитина¹, А. В. Волокитин²

¹*Рудненский индустриальный институт, Казахстан*

²*Казахский национальный индустриальный технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы*

Для исследования влияния нового непрерывного способа деформирования «прессование–волочение» на размер зерна металла деформируемой проволоки проводился моделируемый эксперимент с помощью программы DEFORM-3D, а точнее, при помощи его вспомогательного модуля MICROSTRUCTURE-3D. Этот модуль позволяет рассматривать эволюцию микроструктуры на каждом шаге деформирования с целью определения необходимого числа циклов деформирования для получения наноструктуры, не прибегая к реальному эксперименту.

В качестве материала заготовки была выбрана сталь Ст.3 (A 570 Grade 36). Реологические свойства материала были взяты из базы данных DEFORM. Материал заготовки до деформации является изотопным, в нем отсутствуют какие-либо напряжения и деформации. Заготовка, используемая для анализа, имела цилиндрическую форму диаметром 7,0 мм и длиной 300 мм и была разбита на 180000 конечных элементов, со средней длиной ребра элемента 0,5 мм. С целью исключения застревания проволоки в каналах матрицы при моделировании было принято условие минусового допуска на диаметр проволоки и плюсового допуск на отверстие равноканальной ступенчатой матрицы. Материал равноканальной матрицы и пуансона были приняты абсолютно жесткими. Модель заготовки была принята как упругопластическая. Температура заготовки, как и температура матрицы, была выбрана равной 20 °С – для получения оптимальных значений параметров НДС и усилий деформирования.

Также для моделируемого эксперимента, согласно литературному обзору, были заданы значения коэффициента трения между заготовкой, матрицей $\mu = 0,08$; коэффициент теплообмена с окружающей средой, равный 1; скорость волочения была равна действующей скорости на волочильном стане 1,5 м/с. Скорость прессования была установлена в соответствии с согласованием скоростей в 1,36 раз меньше скорости волочения и равна 1,1 м/с.

После расчета модели были получены следующие результаты эволюции микроструктуры (рис. 1). После прохождения каналов матрицы за счет реализации сдвиговой деформации происходит измельчение зерна с 20 до 12 мкм. После стадии волочения размер зерна также изменяется, но менее интенсивно – с 12 до 9 мкм.

Центральные слои заготовки во время обеих стадий деформирования прорабатываются менее интенсивно – здесь размер зерна меняется с 20 до 15 мкм после РКУ-прессования и до 13 мкм после волочения. Таким образом, после одного цикла

деформирования разница значений размера зерна между поверхностной и центральной зоной составляет 4 мкм.

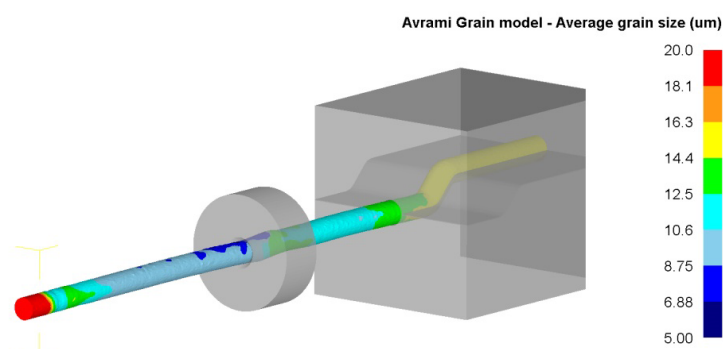


Рис. 1. Изменение размера зерна

Это позволяет сделать вывод, что при осуществлении данного совмещенного процесса проработки заготовки по сечению осуществляется неравномерно и для выравнивания свойств по сечению необходимо проводить несколько циклов деформирования.

Многопроходное деформирование осуществлялось при следующих условиях:

- 1-й проход: заготовка диаметром 7,0 мм проходила через матрицу с диаметром канала 7,0 мм и далее подвергалась волочению через волоку диаметром 6,5 мм;
- 2-й проход: заготовка диаметром 6,5 мм проходила через матрицу с диаметром канала 6,5 мм и далее подвергалась волочению через волоку диаметром 6,0 мм;
- 3-й проход: заготовка диаметром 6 мм проходила через матрицу с диаметром канала 6,0 мм и далее подвергалась волочению через волоку диаметром 5,5 мм.

В результате были получены следующие данные (рис. 2). После второго прохода измельчение зерна уже не такое интенсивное, как в первом проходе. Здесь средний диаметр зерна после РКУП в поверхностной зоне составил 5 мкм, в центральной зоне – 8 мкм, т. е. разница составила 3 мкм. После волочения размер зерна в поверхностной зоне составил 4 мкм, в центральной зоне – 6 мкм, разница составила 2 мкм.

После третьего прохода средний диаметр зерна после РКУП в поверхностной зоне составил 2 мкм, в центральной зоне – 3 мкм, т. е. разница составила лишь 1 мкм. После волочения размер зерна в поверхностной зоне составил 1 мкм, в центральной зоне – 2 мкм, разница также составила 1 мкм.

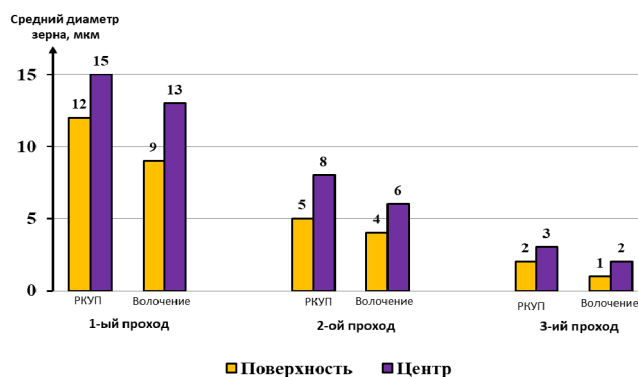


Рис. 2. Изменение размера зерна при многопроходном деформировании

Таким образом, в результате изучения модели с несколькими циклами деформирования было выявлено, что с увеличением числа проходов происходит не только общее снижение среднего диаметра зерна, но и постепенное выравнивание данного параметра между центральной и поверхностной зоной.

УДК 621.313

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКОВ СИЛОВЫХ ЧЕТЫРЕХЖИЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ ДО 1 кВ ПРИ ПИТАНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ В ПРОГРАММЕ ELCUT

Ю. А. Рудченко

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

Допустимая длительная токовая нагрузка – одна из основных характеристик, по которой выбирают силовую кабель напряжением до 1 кВ. Значения длительно допустимых токов приводятся в соответствующих НТПА [1] для стандартных, наиболее часто встречаемых условий эксплуатации кабелей.

Если условия прокладки кабелей отличаются от типовых, длительно допустимый ток можно определить, воспользовавшись методикой, приведенной в ГОСТ МЭК 60287–2009 [2]. Указанный стандарт приводит методы расчета допустимых токовых нагрузок кабелей по значениям максимально допустимой температуры, электрического сопротивления токопроводящей жилы, потерь и тепловых удельных сопротивлений. Формулы, приведенные в [2], позволяют учитывать: конструктивные особенности кабеля, условия окружающей среды, а также запас надежности работы кабеля. Номинальную токовую нагрузку четырехжильного кабеля на низкое напряжение рекомендуется принимать равной номинальной токовой нагрузке трехжильного кабеля на то же напряжение, с тем же размером жил и аналогичной конструкции при условии, что кабель будет использоваться в трехфазной системе, в которой четвертая жила является нейтральным либо защитным проводником. В случае нейтрального проводника номинальная токовая нагрузка относится к симметричной нагрузке.

При протекании по жилам кабеля синусоидального тока и симметричной нагрузке потребителя условия, указанные в [2], выполняются и стандарт можно применять для расчета допустимой токовой нагрузки. Однако при питании потребителей с нелинейной нагрузкой дополнительный нагрев четырехжильных кабелей может возникнуть даже при симметричной нагрузке [3]. Если не учитывать это на этапе проектирования, то сечение кабеля может быть выбрано ошибочно заниженным по условию его допустимого нагрева.

Определить предельно допустимые токи силовых четырехжильных кабелей напряжением до 1 кВ при питании потребителей с нелинейной нагрузкой можно с помощью полевых расчетов, например, методом конечных элементов с применением специализированных компьютерных программ. Определение допустимого длительного тока кабеля является обратной задачей совместного расчета теплового и магнитного полей кабеля. Обратная задача решается путем перебора решений нескольких прямых задач до тех пор, пока не будет выполнено условие соблюдения температурного режима работы кабеля, т. е. когда температура поверхности жилы при искомой токовой нагрузке не будет равна величине предельно допустимой температуры жил кабеля.

Для автоматизации указанных выше расчетов можно использовать компьютерные программы, например, программу Elcut. Определение предельно допустимой токовой нагрузки силовых четырехжильных кабелей до 1 кВ, питающих потребителей с нелинейной нагрузкой в программе Elcut, возможно путем решения задач нестационарного магнитного поля и стационарной теплопередачи методом перебора решений. Для проведения оценочных расчетов можно использовать бесплатную версию программы – *Elcut Студенческий*.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
2. ГОСТ МЭК 60287-1-1–2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. – Ч. 1-1 : Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100%-й коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения.
3. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / И. В. Жежеленко [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 296 с.
4. Симуткин, М. Г. Разработка методов оценки влияния нелинейных электроприемников на режимы работы оборудования распределительных сетей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 / М. Г. Симуткин ; Нац. исслед. ун-т МЭИ. – М., 2014. – 20 с.

УДК 681.511.4

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНО- ВРЕМЕННЫМ ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

А. В. Козлов¹, А. И. Рожков²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²ОАО «Белорусский металлургический завод», г. Жлобин

Замкнутые системы автоматического управления (САУ), имеющие блоки с производениями сигналов, синтезировать с помощью классического преобразования Лапласа достаточно трудно, так как приходится сталкиваться с необходимостью взятия интегралов свертки в комплексной области. Многомерно-временной операторный метод [1] позволяет решать такие задачи, но и в этом случае имеются ограничения.

Аналитически получать многомерно-временные передаточные функции для таких САУ не представляется возможным, так как в этом случае число независимых комплексных переменных p_1, p_2, \dots, p_n стремится к бесконечности. Поэтому аналитический синтез регуляторов в подобных САУ представляет значительные трудности и без ряда допущений, накладываемых в процессе синтеза, попросту невозможен [1].

Удобным подходом к синтезу регуляторов в таких САУ может быть метод выбора из типовых регуляторов для нахождения оптимального с точки зрения получения желаемого переходного процесса, так называемый инженерный синтез.

Критериями такого подхода синтеза могут служить следующие положения:

- 1) для обеспечения требуемого быстродействия системы в регуляторе должна происходить компенсация больших постоянных времени;
- 2) в САУ должна быть обеспечена устойчивость и точность как по управляющим, так и по возмущающим воздействиям.

Для реализации такого подхода синтеза регуляторов были взяты две нелинейные системы: следящая САУ с трактом «сельсины–демодулятор» (рис. 1) и нелиней-

ная двухконтурная САУ температуры печи (рис. 2). Для первой САУ задача была полностью решена, для второй системы были обоснованы преимущества такого способа регулирования температуры печи и сформулировано техническое задание.

Следящая САУ с трактом «сельсины–демодулятор». Сформулируем задачу синтеза регулятора для следящей САУ с модуляцией сигналов: требуется синтезировать регулятор таким образом, чтобы отсутствовала статическая ошибка по управлению и возмущению, при этом быстродействие САУ нужно обеспечить на уровне не более 0,15 с при перерегулировании не более 20 %.

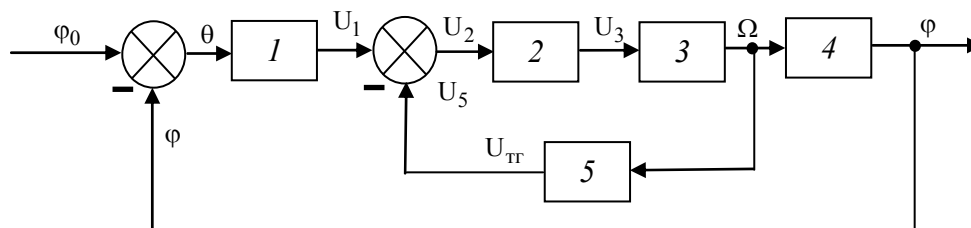


Рис. 1. Структурная схема следящей системы с модуляцией:

1 – тракт «сельсины–демодулятор»; 2 – регулятор слежения;

3 – электродвигатель постоянного тока (ДПТ); 4 – редуктор; 5 – тахогенератор

Синтез регуляторов для следящей САУ был проведен многомерно-временным операторным методом [1] в программной среде MATLAB SIMULINK, используя библиотеку многомерно-временных динамических звеньев [3] со следующими исходными параметрами: $K_{дв} = 100$ град/Вс, $T_{дв} = 0,106$ с, $K_{ТГ} = 0,002$ Вс/град, $T_{ТГ} = 0,0175$ с.

Для анализа выбран режим отработки следящей системой скачкообразного сигнала $\varphi_0 = 5$ град. Синтез выполнялся при значениях несущей частоты от 50 до 400 Гц.

Используем вышеприведенные критерии инженерного синтеза и критерий синтеза регуляторов на технический оптимум, подберем регулятор слежения, удовлетворяющий требуемым показателям качества САУ. В результате проделанной работы имеем регулятор слежения со следующей многомерной передаточной функцией:

$$W_{\text{рег}}(p_1, p_2, p_3) = \frac{2900(0,0175(p_1 + p_2 + p_3) + 1)}{0,106(p_1 + p_2 + p_3) + 1}.$$

Согласно теореме об ассоциации переменных [2] многомерная передаточная функция регулятора в одномерной операторной области будет иметь вид, удобный для технической реализации:

$$W_{\text{рег}}(p) = \frac{2900(0,0175p + 1)}{0,106p + 1}.$$

Инженерный синтез регулятора следящей САУ и дальнейшее ее исследование показало, что достигнуты желаемые показатели качества САУ. Работа системы на малых несущих частотах, меньших 100 Гц, хуже, чем на больших, более 200 Гц. Это связано с тем, что как электродвигатель, так и синтезированный регулятор лучше подавляют высокие частоты.

Нелинейная двухконтурная САУ температуры печи. В печах, работающих на жидком или газообразном топливе, нашли широкое применение двухконтурные системы регулирования температуры с подчиненным контуром расхода топлива.

Расход топлива пропорционален тепловой мощности, поэтому можно говорить о том, что подчиненный контур регулирует не расход, а мощность. В таких системах объект управления, чаще всего печь, представляется аperiodическим звеном, а регулятор температуры чаще всего ПИ-типа.

В электрических печах подобная удобная система регулирования не нашла применения из-за того, что мощность является произведением силы тока на напряжение. Поэтому используется одноконтурная система регулирования температуры, которая легче с точки зрения решения задачи синтеза регулятора, но имеющая худшие показатели качества.

Предлагаемая двухконтурная система регулирования температуры печи (рис. 2), по мнению авторов, будет иметь лучшие эксплуатационные и технические характеристики.

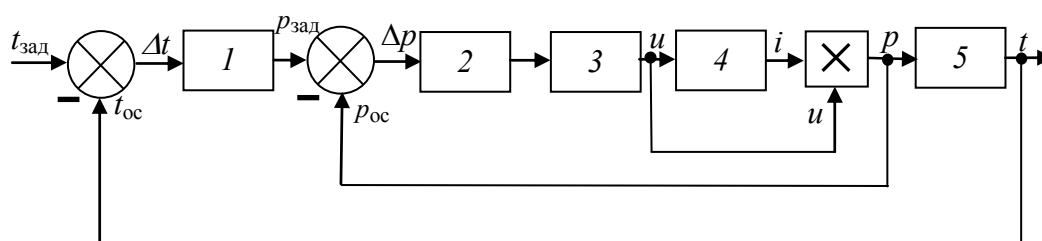


Рис. 2. Структурная схема двухконтурной САУ температурой печи:
1 – регулятор температуры; 2 – регулятор мощности; 3 – преобразователь;
4 – нагревательный элемент; 5 – печь

Л и т е р а т у р а

1. Козлов, А. В. Многомерно-временной операторный метод анализа элементов систем автоматического управления с нелинейностями типа «произведение»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / А. В. Козлов; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2007. – 20 с.
2. Chen, C. F. New theorems of association of variables in multiple dimensional Laplace Transform / C. F. Chen, R. F. Chiu. – INT. J. SYSTEM CSI. – 1973. – Vol. 4, № 4. – P. 647–664.

УДК 519.688

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТОКА НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ЭНЕРГОМОНИТОРА

М. И. Гальченко¹, Н. В. Васильев²

¹*HiQo Solutions, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

²*Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
Российская Федерация*

В рамках проводимых работ по улучшению показателей качества электроэнергии как подзадача рассматривается возможность применения умных устройств с возможностью учета прогноза показателей в кратковременном периоде на основе исторических данных. С целью определения возможности построения кратковременных прогнозов токов по фазам А-С и нейтрали были предоставлены данные одной из трансформаторных подстанций Санкт-Петербурга, снятые энергомонитором в

период с 16 по 22 марта 2017 г. В соответствии с регламентом данные снимались с частотой один раз в 10 мин.

В настоящей статье мы покажем основные этапы проведенного описательного и разведочного анализа данных, а также результаты тестирования различных подходов к моделированию процессов. Для анализа данных применялся язык статистического программирования R как наиболее отвечающий поставленной задаче.

Первичный анализ набора данных показывает, что:

- ряд не содержит пропусков значений в исследуемом интервале, частота снятия показателей не нарушается;
- предоставленный ряд короток, невозможно определить показатели, относящиеся к сезонности, большей дневной;
- данные относятся только к весеннему периоду, невозможно определить, как изменится картина в прочие сезоны;
- отсутствуют погодные данные (температура, влажность, освещенность), что делает прогноз неустойчивым к локальным по времени (несезонное похолодание, дождливая погода) изменениям окружающей среды.

В рассматриваемом наборе данных токи по фазам и нейтрали различны по своим показателям и поведению. Наиболее полно отобразить ситуацию позволяет скрипичный график (рис. 1).

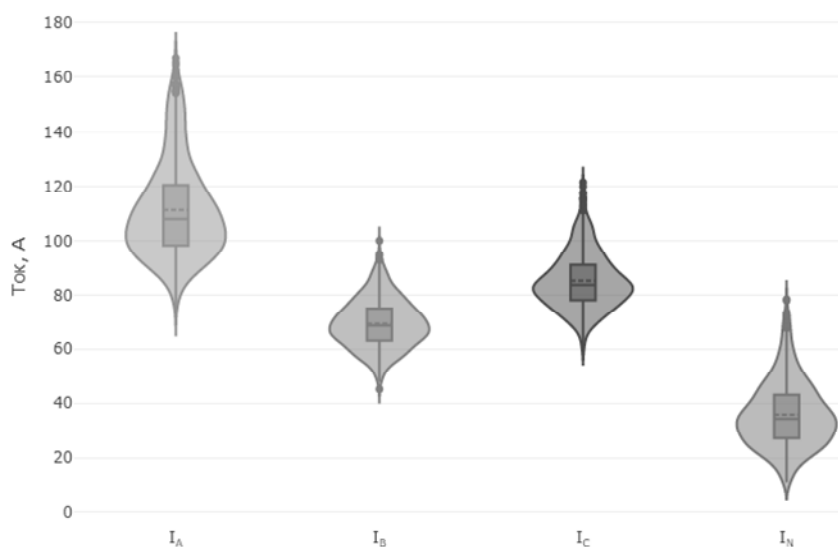


Рис. 1. Распределение тока по фазам и нейтрали

Ток фазы А имеет скошенное распределение, также можно говорить о превосходстве значений фазы А над остальными. Ток нейтрали, наоборот, значительно уступает по значениям току по фазам А-С. Распределения унимодальные, с относительно небольшим количеством выбросов. Ни одно из распределений нельзя отнести к нормальным, что подтверждает тест Шапиро–Уилка.

Для определения схожести временных рядов использовали расстояние DTW. Расстояние для всех рядов достаточно велико (более 7000), наиболее близки между собой ряды для фаз А и В (7539) и А и С (11650). Для определения схожести рядов в части периодичности использовали периодограмму Ломба–Скаргла. Для всех рядов выявляется свой набор статистически значимых мощностей и соответствующих им

периодов. В почасовом разрезе отмечается сходство в поведении серий для токов по А и N, В и С. Наблюдается различие в характере серий для пятницы, субботы и прочих дней.

В сумме все это говорит о существенных различиях в рядах и невозможности применения одной модели для прогнозирования. Кроме того, возникает вопрос о разумности прогнозирования данного ряда как многомерного.

Для оценки возможности прогнозирования токов по фазам и нейтрали применялись алгоритмы SSA [1] (библиотека Rssa), ARIMA (библиотека forecast), NNAR [2] (библиотека forecast), а также искусственные нейронные сети (библиотека keras). Результаты моделирования для ARIMA и SSA (наилучшие модели по PME, тестовый набор – 6 последних измерений) приведены ниже (таблица). Модели подбирались по количеству используемых для прогноза лагов (NNAR) и количеству компонент разложения для автогруппировки (SSA).

Результаты моделирования значений тока с применением различных алгоритмов

Фаза	ARIMA				NNAR				SSA			
	Спецификация	RMS E	PME (CP)	DTW	Спецификация	RMSE	PME (CP)	DTW	Компонент	RMSE	PME (CP)	DTW
A	(4,1,2)	8,86	-0,20	47,92	(13, 50)	7,49	0,14	35,33	6	5,88	0,43	35,23
B	(8,1,3)	6,75	0,33	43,99	(4, 50)	4,56	0,62	33,42	13	4,84	0,60	28,94
C	(6,1,4)	6,13	-0,55	28,61	(2, 50)	4,88	0,04	23,39	6	4,12	0,32	20,50
N	(6,1,4)	5,08	0,39	30,95	(9, 50)	3,22	0,73	26,42	5	3,42	0,66	16,13

По использованным критериям качества наилучший результат показывают NNAR и SSA. Стоит отметить, что модели, построенные с применением алгоритма SSA отличаются компактностью (используется 5-6 компонент для автогруппировки, максимум – 13), а сам расчет не занимает много времени. Применение нейронной сети с частично подобранными параметрами (три слоя, активация selu, в первом слое 100 нейронов, с последовательным уменьшением количества по слоям) к данным по фазе А дало результат, близкий к показанному NNAR.

Таким образом, наилучшие результаты по полученным моделям показывают NNAR и SSA. Показываемые результаты можно оценить как удовлетворительные, однако есть необходимость в продолжении исследований. Дополнительно будут рассмотрены рекуррентные нейронные сети и Гауссова регрессия. Также рассматривается возможность получения более длинных рядов измерений, в том числе на других трансформаторных подстанциях, погодных данных.

Литература

1. Golyandina, N. Basic Singular Spectrum Analysis and Forecasting with R. / N. Golyandina, A. Korobeynikov // Computational Statistics and Data Analysis.– 2014. – Vol. 71. – С. 934–954.
2. Hyndman, Rob J. Forecasting : principles and practice / Rob J. Hyndman and George Athanasopoulos. – OTexts.com [Heathmont, Victoria]. – 2014.

УДК 527.312:519

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА
И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХ
РАСПОЛОЖЕННЫХ БОК О БОК ТРУБ В УЗКОМ КАНАЛЕ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА****Ю. В. Жукова¹, А. М. Терех², А. И. Руденко²**

¹*Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск*

²*Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Использование круглых труб в качестве поверхностей теплообмена различных рекуперативных теплообменных устройств без интенсификаторов, которые сами по себе могут вносить дополнительное аэродинамическое сопротивление, на сегодняшний день себя исчерпало. Очевидно, что для увеличения эффективности и улучшения массогабаритных показателей теплообменных аппаратов изменение формы поперечного сечения поверхности теплообмена на основе круглой трубы приведет к формированию контролируемого отрыва потока, изменению структуры следа и, как следствие, к уменьшению аэродинамического сопротивления аппарата в целом. Для этого можно использовать трубы некруглого сечения, например, плоскоовальные, двухугольные, каплеобразные, эллиптические, которые имеют значительно меньшее (в 1,5–2 раза) аэродинамическое сопротивление по сравнению с сопротивлением труб круглой формы при близких теплопередающих характеристиках и, как следствие, обладают более высокой теплоаэродинамической эффективностью.

Исследованиям аэродинамического сопротивления труб и пакетов из труб некруглого сечения посвящено незначительное количество работ. Известные исследования в большинстве своем содержат результаты сравнения одиночных труб эллиптической и круглой формы и направлены в основном на изучение влияния профиля труб на их аэродинамическое сопротивление и теплоотдачу [1], [2]. Однако важным фактором, влияющим на аэродинамическое сопротивление и теплоотдачу пакетов труб, является расстояние между трубами и расстояние от труб до стенки рабочего участка. Поэтому целью работы являлось получение новых результатов по влиянию на конвективный теплообмен и аэродинамическое сопротивление расположения друг относительно друга двух рядом расположенных в узком канале труб различной формы при угле атаки 0° .

Проведенные исследования по влиянию расстояния от стенки канала до труб круглого сечения и расстояния между трубами на аэродинамическое сопротивление [3], [4] выявили наличие трех режимов обтекания. Первый из них реализуется при расстоянии между трубами $0,2-0,3D$ (D – диаметр трубы); трубы обтекаются как одно плохообтекаемое тело, генерируя одну общую вихревую дорожку. Второй – при расстоянии между трубами от $0,2-0,3$ до $1,2-1,5D$; при этом режиме возникает асимметричный режим в следе – смещенный отрыв потока приводит к формированию одного широкого и одного узкого следа за цилиндрами. Третий – при расстоянии между трубами более $1,2-1,5D$; в этом режиме трубы обтекаются как два независимых плохообтекаемых тела и за ними формируются две независимые вихревые дорожки с одинаковой частотой схода вихрей. В настоящей работе для всех комбинаций был исследован второй режим обтекания.

Объект исследования представляет собой пары расположенных бок о бок труб круглого и каплеобразного сечения, причем последние рассматриваются в трех компоновках. Первая компоновка – трубы каплеобразного сечения обтекаются со стороны большого диаметра; во второй компоновке трубы обтекаются со стороны малого диаметра; в третьей компоновке одна из труб обтекается со стороны большого диаметра, а вторая обтекается со стороны малого диаметра – смешанная компоновка.

Результаты численных и экспериментальных исследований представлены на рис. 1. Числа подобия – число Рейнольдса $Re_D = \frac{U_{ref} D}{\nu}$, число Эйлера $Eu = \frac{\Delta p}{\rho_{ref} U_{ref}^2}$

и число Нуссельта $Nu_D = \frac{\alpha D}{\lambda}$ – формулировались с использованием в качестве определяющих характеристик, плотности воздуха ρ_{ref} , скорости потока на входе в рабочий участок канала U_{ref} и большого диаметра каплеобразной трубы, которая равна диаметру круглой трубы D .

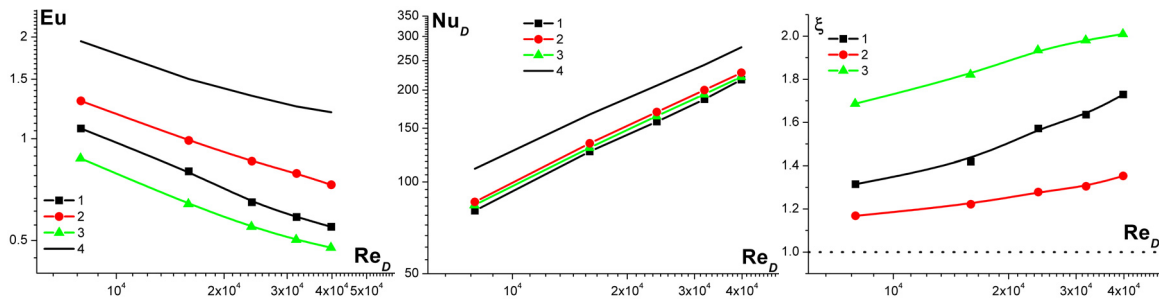


Рис. 1. Результаты исследований пары расположенных бок о бок труб:

a – аэродинамическое сопротивление; *b* – средний теплообмен;

в – теплоаэродинамическая эффективность исследуемых труб: 1 – пара расположенных бок о бок труб каплеобразного сечения, обтекаемая со стороны большого диаметра; 2 – пара расположенных бок о бок труб каплеобразного сечения, обтекаемая со стороны малого диаметра; 3 – смешанная компоновка; 4 – пара расположенных бок о бок труб круглого сечения

Проведено численное и экспериментальное исследование конвективного теплообмена и аэродинамического сопротивления двух расположенных бок о бок каплеобразных труб в различной компоновке, размещенных в узком канале в диапазоне чисел Рейнольдса от 8000 до 32000, в сравнении с трубами круглого сечения. Также приведены результаты визуализации структуры течения в следе за компоновками исследуемых труб. Показано, что теплоаэродинамическая эффективность расположенных бок о бок каплеобразных труб в 1,2–2 раза выше, чем труб круглого сечения за счет более низкого аэродинамического сопротивления каплеобразных труб.

Литература

1. Hasan, Ala Ali. Thermal-hydraulic performance of oval tubes in a cross-flow of air / Ala Ali Hasan // Heat and Mass Transfer. – 2005. – Vol. 41, № 8. – P. 724–733.
2. Nishiyama, H. Heat transfer and flow around an elliptic cylinder / H. Nishiyama, Y. Taoka // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1984. – Vol. 27, № 10. – P. 1771–1779.
3. Moriya, M. Aerodynamic characteristics of two side-by-side circular cylinders and application of wavelet analysis on the switching phenomenon / M. Moriya, H. Sakamoto // Journal of Fluids and Structures. – 2003. – Vol. 18. – P. 325–346.

4. Alam, Md. M. Flow around two side-by-side closely spaced circular cylinders / Md. M. Alam, Y. Zhou // Journal of Fluids and Structures. – 2007. – Vol. 23. – P. 799–805.

УДК 536.25

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИАТОРА ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Т. А. Баранова, Ю. В. Жукова, С. А. Сверчков, А. Д. Чорный

*Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск*

В последнее время при проектировании систем охлаждения грузовой автотранспортной техники все чаще используются современные методы вычислительной гидрогазодинамики (Computational Fluid Dynamics CFD). Использование методов численного моделирования позволяет не только проектировать системы охлаждения, но и оптимизировать их отдельные узлы.

Объектом исследования и апробации методов численного моделирования для расчетов конвективного теплообмена является радиатор охлаждения.

Применяемый метод исследования – численное моделирование. Первоначально создавалась CAD-модель, состоявшая из ряда расчетных объемов (воздух, масло – теплоносители; корпус, оребренные трубы – твердое тело). Расчетные сетки состояли из тетрагексагональных и гибридных элементов. Расчеты проводились с помощью газодинамического решателя ANSYS Fluent 19.1 на высокопроизводительном компьютере Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси.

Задача решалась в сопряженной постановке. На входной границе объема воздуха, имитирующей действие вентилятора, был задан массовый расход, тангенциальная составляющая скорости, турбулентные характеристики набегающего потока, а также характерная температура воздуха (328 К). На входной границе объема масла был задан массовый расход, турбулентные характеристики потока масла, а также характерная температура (343 К). На выходных границах задавались мягкие граничные условия. Стенки корпуса предполагались теплоизолированными.

Решались стационарные уравнения Рейнольдса, уравнение неразрывности и уравнение энергии. Для замыкания уравнений Рейнольдса была использована $k-\omega$ модель переноса сдвиговых напряжений Ментера в стандартной формулировке [2]. В процессе решения сходимость задачи контролировалась уровнем погрешности. Для давления и скоростей минимальный уровень погрешности составлял 10^{-3} , для температуры – 10^{-5} . Расчеты прекращались по достижении погрешности для поправок давления 10^{-4} , для энтальпии (уравнение энергии) – 10^{-8} .

Теплофизические свойства воздуха задавались для плотности – согласно закону несжимаемого идеального газа, для вязкости – согласно закону Сазерленда; для коэффициента теплопроводности – полиномиальной зависимостью от температуры. Теплофизические свойства масла – в виде кусочно-линейных зависимостей.

Первоначально подготовленная расчетная сетка составляла 65 млн расчетных ячеек. На имеющемся в наличии оборудовании подобные расчеты было нереально произвести. В связи с этим была разработана многостадийная методика расчета радиатора охлаждения, основная идея которой заключалась в замене оребрения труб на эквивалентные пористые вставки. Похожие попытки представлены в [2].

На первом этапе проводится численное моделирование обтекания воздухом одной секции оребренной трубы. Размеры расчетной сетки не превышали 10 млн расчетных ячеек. По результатам расчета был определен коэффициент теплоотдачи от оребрения к воздуху, распределение скорости на входе в каналы, формируемые оребрением, и перепад давления Δp между входом и выходом каналов, формируемых оребрением. По полученным результатам определяем коэффициент проницаемости. Также был рассчитан коэффициент пористости, представляющий собой отношение объема воздуха в пористом теле к общему объему. Для контроля адекватности использования модели пористого тела были проведены расчеты обтекания воздухом одной секции по маслу, в которой оребрение труб было заменено пористыми вставками. Сопоставление результатов численного моделирования с имеющимися данными инженерных расчетов и технических характеристик радиатора охлаждения показали, что отклонение не превышает 1 %.

На втором этапе была подготовлена CAD-модель полного радиатора охлаждения с заменой оребрения пористыми вставками. Расчеты были проведены для равновесной модели пористого тела с использованием коэффициента проницаемости, рассчитанного на первом этапе работы. Равновесная модель пористого тела предполагает равенство температур пористого «каркаса» и воздуха, находящегося в порах. При расчете радиатора охлаждения такая модель может быть использована только в качестве приближенного решения, поскольку в реальности существует теплообмен между ребрами радиатора и омывающей средой – воздухом.

Поэтому на третьем этапе, используя решение, полученное в рамках равновесной модели пористого тела, для расчетов применялась неравновесная модель пористого тела, предполагающая теплообмен между пористым «каркасом» и воздухом в порах. Для расчетов согласно неравновесной модели пористого тела необходимо задать коэффициент теплоотдачи, который был получен на первом этапе расчетов, и отношение площади поверхностей, граничащих с оребрением, к общему объему зоны, представленной пористой вставкой. Результаты численного моделирования представлены на рис. 1.

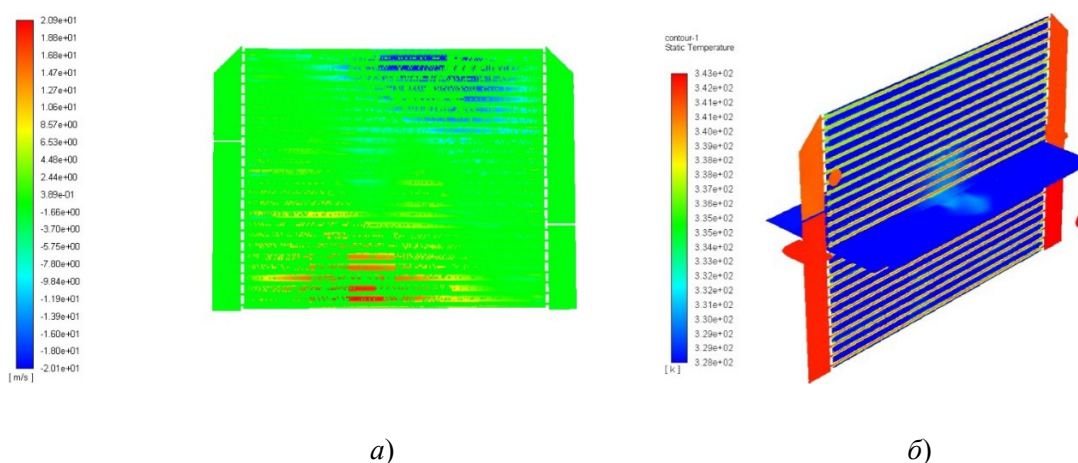


Рис. 1. Распределение в срединном сечении радиатора:
а – скорости; б – температуры

Литература

1. Menter, F. R. Zonal two equation $k-\omega$ turbulence models for aerodynamic flows / F. R. Menter // AIAA Paper. – 1993. – № 2906. – P. 1–21.
2. Якубович, А. И. К вопросу расчета поверхности охлаждения многорядных радиаторов тракторов «Беларус» / А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2010. – № 2. – С. 49–58.

УДК 004.421

АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ**И. Ю. Татуревич, О. А. Кравченко***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Классификация текста необходима для решения таких задач, как борьба со спамом, распознавание эмоциональной окраски текстов, разделение сайтов по тематическим разделам, персонификация рекламы. Классификация текстов является задачей семантического анализа текстов, имеющей обширную область применения: психология, политология, филология, торговля, проектирование поисковых и SEO-алгоритмов, искусственного интеллекта и текстовых фильтров [1].

В качестве задачи классификации текста рассматривается задача по фильтрации спама в базе данных смс-сообщений [2]. Спам (англ. spam) – массовая рассылка корреспонденции рекламного характера лицам, не выразившим желания ее получать. Доля спама в мировом почтовом трафике составляет от 60 до 80 %. Это говорит о том, что исследования новых алгоритмов для выявления такого рода сообщений являются актуальными. С учетом роста влияния информационных технологий на многие аспекты жизни человека также необходимо решать такие задачи с точки зрения скорости обработки таких сообщений, точности их определения и возможности интеграции данного функционала с другими программами.

Разработанный алгоритм работы классификатора состоит в следующем. Исходный массив данных разбивается на слова или предложения (токенизируется). Составляется таблица, в которую включаются сообщения, сведения о принадлежности к классу «спам» или «не-спам», количество разных слов сообщения. Затем происходит преобразование полученных данных в числовую форму с использованием модели *bag-of-words*. Следующий шаг алгоритма – обучение функции классификации тренировочным набором данных: из сообщений выделяются слова, которые являются ключевыми характеристиками для классификации сообщений. При появлении в системе нового сообщения из него также будут выделены слова. При этом, если данные слова не встретятся в составленной ранее таблице, они будут исключены из классификации и будет подсчитано общее количество оставшихся слов. Вероятность того, что сообщение будет отнесено к одному из классов, равна произведению вероятностей вхождения найденных слов в этот класс. Необходимо рассчитать значения вероятностей для обоих классов, чтобы определить, к какому из них относится сообщение. После стадии обучения в классификатор передается тестовый массив данных и вычисляется результат. Точностью вычисления алгоритма является процент корректно определенных данных. Например, если в качестве входных данных подается 100 сообщений, которые гарантированно не являются спамом, то алгоритм должен показать точность равную 100 %. Для тестирования разработанных библиотек также применялась модификация алгоритма, учитывающая наличие часто повторяемых слов в обеих группах [2].

Алгоритм разработан на основе наивного байесовского классификатора, позволяющего определить вероятность события при условии, что произошло другое взаимозависимое событие: вероятность того, что сообщение принадлежит классу «не-спам»; вероятность того, что сообщение принадлежит классу «спам»; безусловную вероятность встретить сообщение класса «спам» в обучающей выборке сообщений; безусловная вероятность встретить сообщение класса «не-спам» в обучающей выборке сообщений.

Для тестирования алгоритма разработано программное обеспечение на мультипарадигмальном языке программирования *F#* из семейства языков *.NET Framework*, поддерживающем функциональное программирование в дополнение к императивному (процедурному) и объектно-ориентированному программированию, позволяющему писать абстрактные обобщенные алгоритмы, которые управляют параметризованными структурами данных, с использованием библиотеки *Accord.net*.

Разработанный алгоритм с применением наивного байесовского классификатора показал высокую эффективность и точность результатов.

При рассмотрении сообщений не только с точки зрения отдельных слов, но и их ассоциаций, рассматривается оптимизированный алгоритм, точность которого выше, чем у наивного байесовского классификатора. Таким образом, более полный анализ структуры текстовых сообщений позволяет не только повысить качество классификации, но и открывает большие перспективы с точки зрения разработки новых алгоритмов и оптимизации уже существующих.

Л и т е р а т у р а

1. Леонтьева, Н. Н. К теории автоматического понимания текста : в 3 ч. / Н. Н. Леонтьева // Изд-во Моск. ун-та. – 2002. – Ч. 3 : Семантический компонент. Локальный семантический анализ. – С. 49.
2. Коллекция смс спама. – Режим доступа: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/sms+spam+collection>. – Дата доступа: 12.10.2018.

УДК 536.25

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ТЕПЛОТДАЧЕ ОДНОРЯДНОГО ОРЕБРЕННОГО ПУЧКА ПРИ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ

Г. С. Маршалова¹, С. А. Сверчков²

¹Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск

²Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск

В конвективном теплопереносе принято выделять вынужденную и свободную конвекцию, и поэтому процессы рассматривают в предположении, что один из этих режимов течения является преобладающим. Однако создаваемые при конвективном течении перепады температур в окружающей среде при наличии поля объемных сил, таких как сила тяжести, приводят к возникновению свободно-конвективных течений [1]. Таким образом, даже в условиях действия вынужденной конвекции будут присутствовать проявления свободной. В практических расчетах большое значение имеют ус-

ловия, при которых можно пренебречь влиянием одного механизма конвективного переноса на другой. В реальных устройствах возникают условия, когда оба вида конвекции играют существенную роль, в этом случае возникает явление смешанной конвекции.

Проведение экспериментов по изучению смешанной конвекции требует значительных расходов на реализацию, высокой мощности оборудования, а также больших временных затрат. Вследствие этого чаще всего охватить весь желаемый диапазон вариантов экспериментов не представляется возможным. Для решения этой проблемы предлагается расширять границы эксперимента с помощью численного моделирования.

Цель работы – сопоставление экспериментальных данных и результатов численного моделирования для однорядного пучка, состоящего из биметаллических ребристых труб, в условиях смешанной конвекции.

Изучался однорядный шахматный пучок воздухоохлаждаемого теплообменника, состоящий из шести биметаллических ребристых труб, расположенных с поперечным шагом $S_1 = 58$ мм, относительным поперечным шагом $\sigma_1 = 1,036$. Для организации смешанной конвекции над экспериментальным пучком устанавливалось два типа вытяжных шахт – с прямоугольным и круглым сечениями. Для сравнения результатов экспериментальных исследований и численного моделирования были выбраны следующие виды вытяжных шахт: $d_{\text{отв}} = 0,160$ м, $H = 0,52$ м; $d_{\text{отв}} = 0,205$ м, $H = 0,52$ м; $d_{\text{отв}} = 0,105$ м, $H = 1,16$ м, где $d_{\text{отв}}$ – диаметр выходного отверстия вытяжной шахты, м; H – высота вытяжной шахты, м. Подробное описание установки, вытяжной шахты, трубы-калориметра и методики экспериментального исследования представлено в [2].

Для подготовки расчетной сетки был использован пакет Ansys Meshing. Численное моделирование проводилось при помощи пакета Ansys Fluent 19.1. Для расчета задачи в стационарной постановке был использован 12-ядерный компьютер Intel Xeon E5 с 64 Гб. ОЗУ. Среднее время расчета на распараллеленной версии составляло порядка 6–8 ч.

Для численного моделирования была осуществлена трехмерная постановка задачи. Размеры расчетной области составляли $10,348 \times 4,0868 \times 0,00972$ м. Расчет осуществлялся на неструктурированной пространственной сетке, состоящей из треугольных элементов на поверхности ребристой трубы. Для описания расчетной области потребовалось около 8700000 ячеек.

Для замыкания была использована $k-\omega$ модель турбулентности Ментера (Menter's $k-\omega$ shear stress transport model – модель переноса сдвиговых напряжений Ментера), адаптированная для переходного режима [3].

Одним из критериев, характеризующим процесс смешанно-конвективного теплообмена, является число Ричардсона $Ri = Gr / Re^2$, где число Грасгофа и число Рейнольдса выражают, соответственно, интенсивность свободной и вынужденной конвекции [1]. При $Ri \ll 1$ режим течения считается преимущественно вынужденным, а при $Ri \gg 1$ – преимущественно свободным.

Для проведенного эксперимента число Ричардсона составляло 0,45–1,5, что свидетельствует о наличии смешанно-конвективного теплообмена, при этом с увеличением высоты и диаметра выходного сечения вытяжной шахты число Ричардсона уменьшалось.

Сравнение результатов эксперимента и численного моделирования производилось в виде зависимости скорости воздуха в пучке $w_{\text{п}}$, температуры стенки $t_{\text{ст}}$ от мощности, подаваемой на калориметр (рис. 1).

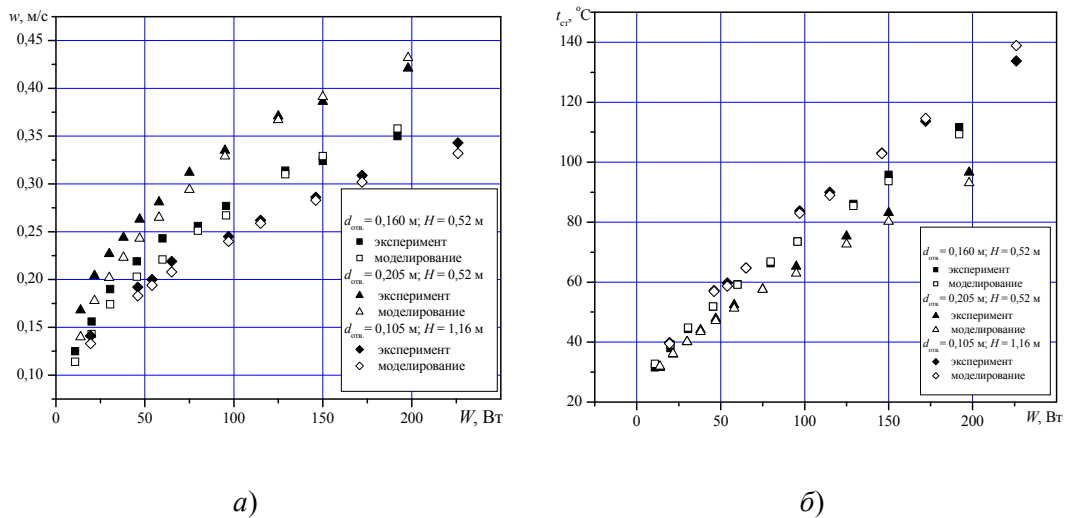


Рис. 1. Зависимости: а – скорости воздуха в пучке w_n ; б – температуры стенки $t_{ст}$ от мощности, подаваемой на калориметр

Как видно из графиков на рис. 1, расхождение между результатами эксперимента и численного моделирования не превышает 15 %. Таким образом, результаты проведенного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными и могут быть использованы для расширения границ эксперимента.

Литература

1. Гебхарт, Б. Свободноконвективные течения: тепло- и массообмен : пер. с англ. / Б. Гебхарт, Й. Джалурия, Р. Махаджан ; под ред. О. Г. Мартыненко. – 1-е изд. – М. : Мир, 1991. – 678 с.
2. Сидорик, Г. С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглорбистых труб и пучков / Г. С. Сидорик // Тр. БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2018. – № 1 (204). – С. 85–93.
3. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб / Ю. А. Быстров [и др.]. – СПб. : Судостроение, 2005. – 392 с.

СЕКЦИЯ 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ. МЕХАТРОНИКА

УДК 636.5

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАБОЧЕЙ МЕРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДООЧИСТКИ

В. Н. Штепа¹, Н. А. Заец²

¹*Полесский государственный университет, г. Пинск,
Республика Беларусь*

²*Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины, г. Киев*

Главные загрязнители сточных вод согласно природе происхождения делятся [1] на:

- химические: кислоты, оксиды, щелочи, гидроксиды, соли, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы, пестициды, нитраты и фосфаты;

- биологические: вирусы, бактерии, микробы, лигнины, грибки;

- физические: взвешенные частицы, радиоактивные элементы, тепло.

При исследовании метрологических характеристик рабочей меры эффективности электротехнологической водоочистки (РМЭЭВ) (рис. 1) в качестве загрязнителей сточных вод выбраны:

- концентрации нитратов;

- концентрация фосфатов (ортофосфаты и полифосфаты);

- рН;

- биологическое потребление кислорода (БПК);

- концентрация взвешенных элементов;

- синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ).

РМЭЭВ является универсальной и относится к классу рабочих мер (измерительные средства, которые применяют для измерений, не связанных с передачей размера единиц), поскольку путем использования интегрированного электротехнологического оборудования дает возможность косвенными способами оценивать эффективность и энергозатратность базовых методов водоочистки [1]:

- биологический: через расчет подачи компрессором кислорода и известных параметров его окисляющие воздействия на органические загрязнители;

- физический: оценивая сорбцию через пенополистирольный фильтр;

- химический: путем установления степени окисления в окислителях и эффективности коагуляции в емкости реактора;

- физико-химический (ключевой метод РМЭЭВ): оценивая работу электролизных аппаратов.

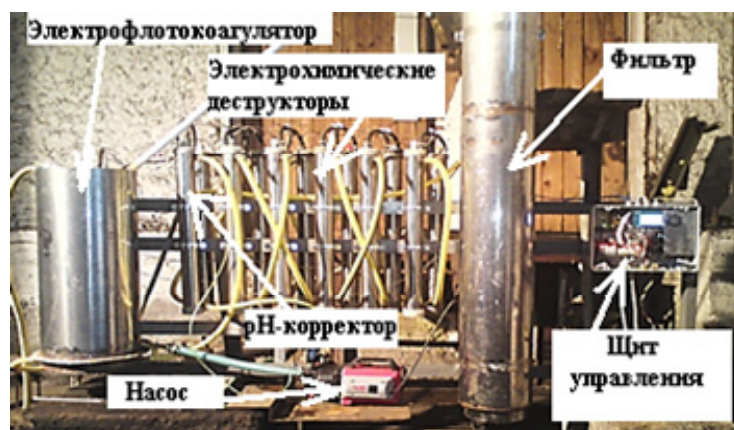


Рис. 1. Внешний вид технологических элементов РМЭЭВ (патент Республики Беларусь № 10981 «Система водоподготовки и водоочистки») в составе: электрофлотокоагулятор, рН-корректор, электрохимические деструкторы-окислители, сорбционный фильтр

Измерения значений показателей качества воды выполнялись:

- концентрации фосфатов и нитратов – по методике Лурье;
- БПК – измерительной системой AL 606;
- концентрации взвесей – нефелометром ФЭК 60;
- рН – рН-метр-ионометром И-500;
- СПАВ – согласно ПНД Ф 14.1: 2.15.15-95;
- температура воды – датчиком ТСП-5017.

Управляющим воздействием на загрязнители была сила тока (напряжения) на электролизерах (см. рис. 1). Другие элементы (насосы) работали в установленном стационарном режиме, компрессоры на максимально возможной производительности.

Диапазоны, в которых менялись значения загрязнителей выбраны с учетом необходимости исследования нештатных ситуаций [2]. Значения параметров устанавливались случайно, с целью максимального заполнения диапазонов проблемной области.

При оценке метрологических характеристик контрольно-измерительных комплексов РМЭЭВ, работающих в режиме реального времени, создавали схемы информационных каналов (рис. 2), а потом рассчитывали точность измерений при максимизации значений параметров.



Рис. 2. Схема информационно-измерительного канала измерения температуры воды в РМЭЭВ: ПИУ – первично измерительное устройство; ЛС – линия связи; НП – нормирующий преобразователь; МКБ – модуль коммутации бесконтактный; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПРОЦ – процессор; СПИ – средство представления информации

Для информационно-измерительного канала измерения температуры установлено, что он способен определять и выводить на средство представления информации температуру воды в пределах, удовлетворяющих технологические требования системы автоматического управления, $- 50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчеты для других информационно-измерительных каналов, проведенные по аналогичной методике, дают следующие результаты: расход воды – $45 \text{ м}^3/\text{ч} \pm 0,467 \text{ м}^3/\text{ч}$; мутность – $5000 \text{ мг/л} \pm 0,5 \text{ мг/л}$; рН – $14 \pm 0,05$; манометрическое давления – $8 \text{ атм} \pm 0,05 \text{ атм}$.

Заключение. Метрологические характеристики автоматизированных контрольно-измерительных комплексов РМЭЭВ, работающих в режиме реального времени (температура, мутность, расход, рН, манометрическое давление), позволяют их использовать в промышленных системах водоочистки.

Литература

1. Штепа, В. М. Метод побудови систем енергоефективного управління комбінованою електротехнологічною очисткою стічних вод різногалузевих промислових об'єктів / В. М. Штепа, В. В. Каплун // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – К., 2017. – № 2 (108). – С. 27–37.
2. Штепа, В. Н. Оптимизация функционирования нечетких когнитивных карт с использованием нейронных сетей (на примере управления процессами водоочистки) / В. Н. Штепа // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2016. – № 4 (67). – С. 97–105.
3. Вертай, С. П. Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщенной оценки перспективности инновационных технологий / С. П. Вертай, В. Н. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ : НУБіП України, 2016. – Вип. 240. – С. 86–93.

УДК 551.508;556.51;504.75;621.317.39.084.2

SENSOR SYSTEM FOR AN AUTOMATED HYDROMETEOROLOGICAL / ENVIRONMENTAL STATION IN THEOREMS-DNIPRO INTERNATIONAL PROJECT

Yu. V. Kryshneu¹, A. Ul. Sakharuk¹, Ul. H. Vernikouski¹, R. Yu. Labaznau²,
L. M. Zhuravovich², H. L. Matsevila², O. A. Velihorskyi³, A. L. Prystupa³

¹*Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

²*Belhydromet, Minsk, Republic of Belarus*

³*Chernihiv National University of Technology, Ukraine*

Since June 13, 2002, the Agreement between the Government of the Republic of Belarus and the Cabinet of Ministers of Ukraine on the joint use and protection of transboundary waters is valid. In order to implement the Agreement following working groups have been established: the working group on the exploitation of the Belaazjorsk water supply system of the Dnipro-Bug Canal; the working group on joint use of water resources, engineering, construction and operation of water facilities; working group on the protection and control of water quality; the working group on hydrometeorology. One of the steps in developing a network of automated hydrometeorological observations on both sides of the border and increasing of relevant interstate interaction is the project “THEOREMS-Dnipro. Transboundary Hydrometeorological and Environmental Monitoring System of Dnipro river” implemented through the First Territorial Cooperation Program for the Eastern Partnership Countries “Belarus – Ukraine” funded by the European Union.

As part of the project it is planned to create two unified automated hydrometeorological / ecological stations in the area of long-term hydrometeorological observations (in Belarus – gauging station “Loew”, in Ukraine – gauging station “Lubech”).

Structurally, the hydrometeorological and ecological station AHMES consists of a data acquisition module, a required set of sensors, an information transfer module, and a power supply module. Figure 1 shows the structural diagram of AHMES measuring station.

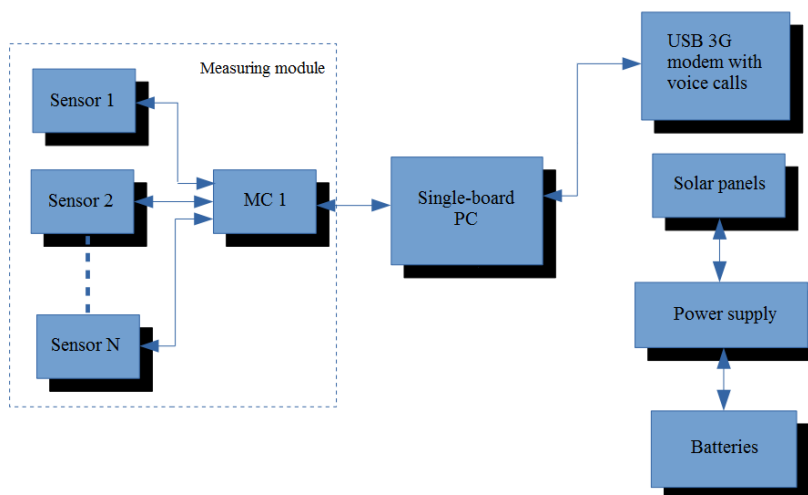


Fig. 1. Structural diagram of AHMES measuring station

In the construction of hydro-meteorological and environmental AHMES station is planned to realize the measurement of the following parameters:

- hydrology: water level and temperature;
- weather: air temperature and humidity, atmospheric pressure, wind speed and direction, rainfall;
- environmental: pH, dissolved oxygen, specific conductance, chloride ions, sulfate ions.

To measure the *water level* preference is given to the hydrostatic probe (Keller PAA-36 X W). Estimated measuring range 0–20 m (0,002 % resolution), 4–20 mA, integrated 16 bit ADC [1].

For reliable and accurate measurements of *water temperature* it is required the sensor (for example, Vaisala QMT110) with the measuring range of $-60...+60$ °C and accuracy of at least 0,08 °C with analog or digital output, watertight in range of 0,1–4 bar [2].

For measurement of *ecological parameters* may be used a complex sensor (s::scan ISE Sonde V21), which can measure depending on the device variant:

- ammonium (NH₄-N) ± 3 %;
- potassium (K) ± 3 %;
- nitrate (NO₃) ± 3 %;
- fluor (F) ± 3 %;
- temperature (T) (0...+60 °C $\pm 0,1$ °C);
- pH (2...12 pH $\pm 0,01$ pH).

Operating pressure 14,5–87 psi, IP68, response time 60 sec, power supply 10–15 VDC.

For reliable and accurate measurement of *air temperature, atmosphere pressure and humidity* it is required the sensor (for example, Vaisala WXT534) with the digital output (RS485 interface), operating voltage 6–24 VDC, and the measuring ranges of:

- temperature: $-52...+60$ °C and accuracy of at least 0,3 °C;
- atmosphere pressure: 500–1100 hPa (375–825 mm Hg);
- humidity: 0–100 % and accuracy of not less than 2 % [3].

To measure *wind speed and direction* it is required compact size combined into one unit wind speed and direction sensor (for example, Vaisala WXT532), with the possibility of heating for work in the cold season, response time is 0,25 s, operating voltage 6...24 VDC.

- wind speed measurement range 0...60 m/s $\pm 3\%$ at 10 m/s;
- wind direction measurement 0...360° $\pm 3^\circ$ at 10 m/s [3].

To measure the *amount of precipitation* is expected to use a recording rain gauge (OTT Pluvio²) with a tipping bucket, operating voltage 10 ... 28 VDC, measuring range up to 400 cm² ± 0.05 mm, RS485 or SDI-12 interfaces, intensity output interval – 1 minute.

To collect data from sensors and data transmission via GSM-module Neoway n720 demo-board, powered by 5V/2A adaptor, 2G/3G/4G antenna interfaces, 3,3V LDO voltage regulator, USB interface, SIM card interface.

In order to use renewable energy sources, the AHMES station will be powered by a 36 W rechargeable battery recharging by a solar panel (LP-270P) – 270 W, 32 V, 8,64 A.

The data of the main meteorological values will be recorder every 10-minute intervals, which end at 21, 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 h UTC.

Conclusion

1. As a result of this part of the project a set of required sensors for the AHMES automated hydrometeorological / environmental monitoring stations has been selected and tested.

2. The implementation of this part of the project has allowed to estimate required parameters of the sensors selected, ensure that they meet all established criteria, including measurement ranges, reliability and cost.



The project is co-funded
by the European Union



List of sources used

1. Highly Precise Level Transmitters Keller Series PAA-36 X W. User manual and specifications.
2. Soil/Water Temperature Probe Vaisala QMT110. Main features, specifications and technical data.
3. Vaisala Weather Transmitter WXT530 Series. User manual and technical information.

УДК 62-83

ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ В МЕХАНИЗМАХ С КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

В. В. Логвин

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

Характер изменения нагрузки различных механизмов с колебательным моментом сопротивления весьма разнообразен. Колебания момента нагрузки на валу двигателя происходят с различной амплитудой и частотой, с переменной начальной фазой момента нагрузки при пуске электропривода, а также различны законы изменения нагрузки (синусоидальная, несинусоидальная).

Изменения амплитуды колебаний на параметры выходных координат существенного влияния не оказывает, так как при проектировании электропривода выбирается электродвигатель для конкретного рабочего механизма, способный обеспечить требуемый электромагнитный момент.

Большое влияние на характер переходного процесса оказывает начальная фаза момента нагрузки при пуске. В зависимости от начальной фазы момента нагрузки величина пускового тока асинхронного электродвигателя изменяется до 30 %.

В рабочих механизмах с частыми пусками (например, в мощных однопоршневых компрессорных установках) установление начальной фазы приведет к значительной экономии электроэнергии. Точный же останов механизма, если это позволяет технологический процесс, не представляет собой особых технических и экономических затрат.

При исследовании показателей процесса пуска частотно-токового асинхронного электропривода, при изменении начальной фазы колебательного момента для АД 4А80А2УЗ, выявлено, что при одном и том же времени переходного процесса $t_{п.п}$ (1,2–1,4 с) пусковой ток I_{max} изменяет свое значение от 6,9 до 9,5 А, т. е. на 30 %.

Исследования показали, что оптимальный режим работы по энергетическим показателям обеспечивается, если начальная фаза момента сопротивления составляет 220–240° (при синусоидальном законе изменения величины нагрузки).

Характер изменения нагрузки также в значительной степени влияет на параметры регулируемых координат. Установлено, что в подобных механизмах, с целью снижения колебаний скорости при пуске, целесообразно осуществлять пуск на постоянную нагрузку, с началом рабочего процесса механизма после наступления установившегося режима.

Проведенный численный анализ подтвердил достоверность и эффективность разработанных структур частотно-токового асинхронного электропривода. Получено, что при колебательном характере момента нагрузки, при использовании предложенных методов инвариантной оптимизации колебания скорости электродвигателя можно снизить до 0,7–1,5 % от номинального значения.

При рассмотрении влияния различных параметров характера колебательного момента нагрузки на точность регулирования выходных координат установлено, что минимальная величина пусковых токов будет в случаях когда начальная фаза момента нагрузки лежит в пределах 220–240° (при синусоидальном законе изменения величины нагрузки). Наиболее тяжелые режимы работы электропривода с колебательной нагрузкой протекают при частотах колебаний момента в диапазоне $5 < f < 0,1$ Гц.

УДК 621

МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ В MATLAB SIMULINK

И. В. Дорощенко, В. В. Годарев

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

Большинство энергоемкого оборудования промышленных предприятий составляют асинхронные электроприводы. Использование компьютерных систем моделирования, учитывающих особенности определенных типов электроприводов, позволяет произвести настройку оптимального способа регулирования и циклограммы работы, что положительно отображается в виде снижения эксплуатационных затрат в процессе работы электропривода.

Для анализа асинхронных электроприводов в программном пакете Matlab Simulink применяется базовая имитационная модель асинхронной машины с фазным ротором, составленная на основе двухфазной математической модели асинхронной машины, которая не позволяет исследовать переходные процессы асинхронного электропривода при подключении обмотки ротора асинхронной машины к управляемому преобразователю (при исследовании машины двойного питания и асин-

хронно-вентильного каскада). Таким образом, актуальной является задача создания имитационной модели асинхронной машины с фазным ротором, которая наиболее полно отражала бы электромеханические преобразования в асинхронной машине при подключении к цепи ротора управляемых преобразователей. Целью исследований является создание имитационной модели асинхронной машины с фазным ротором на основе трехфазной математической модели асинхронной машины в Matlab Simulink.

На основании математической модели трехфазного асинхронного двигателя, в которой уравнения разрешены относительно производных потокосцеплений [1], была разработана имитационная модель асинхронной машины с фазным ротором. Формирование коэффициентов уравнений выполнено в матричном виде, при этом для удобства учета коммутации силовых полупроводниковых приборов уравнения модели разрешены относительно производных потокосцеплений [1]. Полученная в Matlab Simulink имитационная модель трехфазной асинхронной машины с фазным ротором представлена на рис. 1.

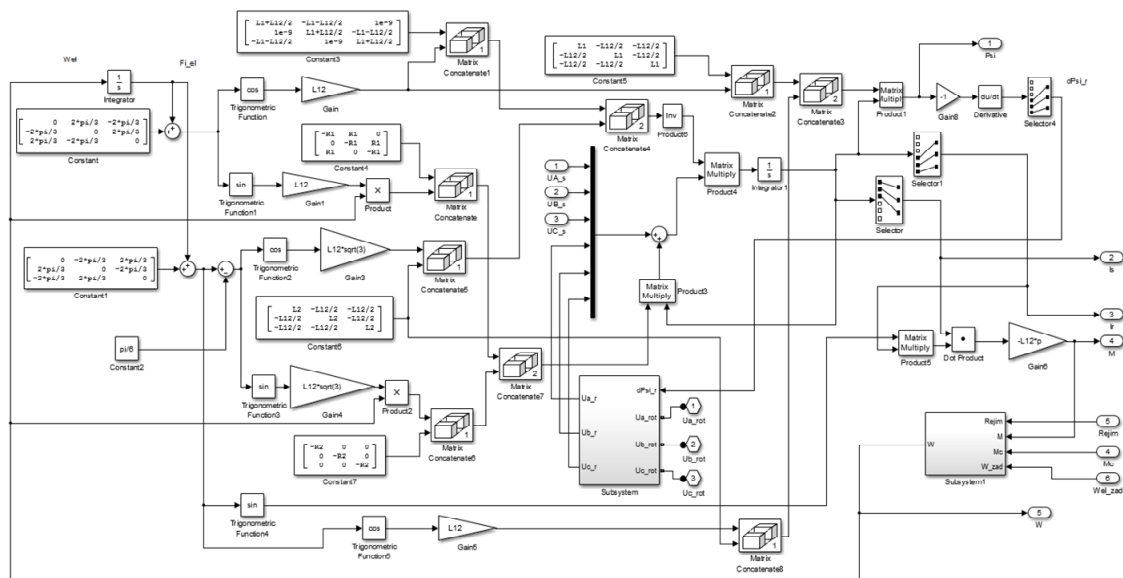


Рис. 1. Модель асинхронной машины с фазным ротором в Matlab Simulink

Особенностью разработанной имитационной модели АД с фазным ротором является то, что основные уравнения токов и потокосцеплений выполнены с использованием блоков библиотеки Simulink, а определение напряжений на кольцах фазного ротора производится на элементах библиотеки SimPowerSystems. Это позволяет подключать к цепи фазного ротора модели различные виды нагрузки. В связи с тем, что Simulink-блоки и SimPowerSystems-блоки не могут быть непосредственно соединены друг с другом [2], то для преобразования SimPowerSystems-модели в эквивалентную расчетную Simulink-модель служит блок Subsystem, содержание которого представлено на рис. 2.

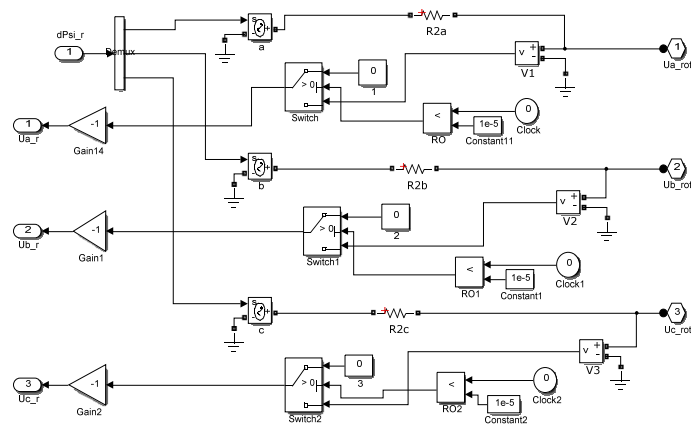


Рис. 2. Содержание блока Subsystem

Уравнения механической части асинхронной машины представлены в модели с блоком Subsystem1, содержание которого представлено на рис. 3.

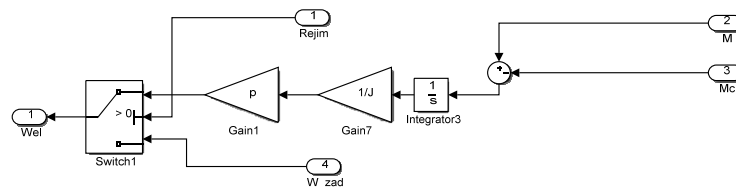


Рис. 3. Содержание блока Subsystem1

Созданная и отлаженная имитационная модель асинхронной машины с фазным ротором позволяет производить анализ статических динамических процессов, происходящих в асинхронной машине с фазным ротором при подключении к цепи ротора управляемого преобразователя. В процессе апробации модели было выявлено, что шаг расчета для получения адекватного результата должен иметь порядок единиц микросекунд.

Литература

1. Захаренко, В. С. Особенности имитационного моделирования асинхронного двигателя для составления модели с учетом коммутации и при несимметричных схемах включения / В. С. Захаренко, И. В. Дорошенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 3. – С. 66–74.
2. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

УДК 62-83

КОМПЕНСАЦИЯ МАЛЫХ ИНЕРЦИОННОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

В. В. Логвин, Л. В. Веппер

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

Крановое электрооборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Подавляющее большин-

ство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет привод основных рабочих механизмов, и поэтому действия этих машин в значительной степени зависят от качественных показателей используемого кранового оборудования.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно-кратковременном режимом работы при большей частоте включения, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения.

Оптимальная по быстродействию и динамичности система автоматического управления тележки мостового крана должна обеспечивать переход от одного установившегося значения скорости к другому за минимально возможное время при соблюдении наложенных ограничений на ее первую и вторую производные – ускорение и рывок. Эти ограничения диктуются соображениями обеспечения надежности и долговечности работы основного оборудования установки, необходимость ограничения ускорения для снижения уровня динамических нагрузок и мощности подъемного двигателя совершенно очевидна.

Для повышения стабилизации скорости и уменьшения колебаний рекомендуем использовать подчиненное регулирование тока с последовательно-параллельной коррекцией, хорошо себя зарекомендовавшее в электроприводах постоянного тока.

В традиционных системах подчиненного регулирования принято компенсировать только большие постоянные времени T . Это оправдано для контура тока, в котором малая постоянная времени образуется как не подлежащая компенсации сумма малых постоянных времени. Однако в последующие контуры регулирования вводят последовательно увеличивающиеся постоянные времена $4T$, $8T$, $16T$ и т. д. В результате происходит накопление T -инерционностей от контура к контуру, причем в каждом последующем контуре уменьшается быстродействие и увеличивается порядок динамической системы. Подчиненное регулирование связывается преимущественно только с последовательной коррекцией.

При подобной оптимизации резко ограничиваются возможности проектировщика подчиненных систем, который может оперировать только величиной T , так как все дальнейшие настройки заведомо определены и не подлежат варьированию. Фиксированные же свойства многоконтурных систем в конкретных случаях не обязательно удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям.

Эта проблема решается с использованием средств последовательной и параллельной коррекции по принципу инвариантного оптимума, который предусматривает полную компенсацию инерционностей предыдущего контура, в том числе и T -инерционностей. Вследствие этого не требуется динамического сопряжения контуров и появляется возможность формирования желаемой динамики.

Уменьшение подверженности контура тока действию возмущений возможно достигнуть, вводя контур параллельной коррекции.

Предел быстродействия ограничивается только значением некомпенсируемой постоянной времени T , которая обеспечивает устойчивый режим работы ключей преобразователя.

Таким образом, более высокое качество инвариантных систем регулирования достигается тем, что регуляторы этих систем выполняют более сложные функции управления. Они компенсируют не только большие постоянные времена, но и малые инерционности предыдущих контуров.

УДК 621.314

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НАГРУЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ

М. Н. Погуляев

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

Энергосберегающие устройства нагрузки (УН), выполненные на базе статических полупроводниковых преобразователей, являются перспективными для проведения испытаний резервных электрогенераторов [1]. Такие УН позволяют плавно регулировать величину нагрузки и коэффициента мощности, а также рекуперировать вырабатываемую испытуемым генератором электроэнергию с переменным напряжением и частотой в промышленную сеть. Проведение исследований работы различных устройств, не создавая физической модели, наиболее удобно проводить на имитационных моделях. В настоящее время имитационное моделирование является наиболее удобным и наглядным методом исследования процессов, происходящих в различных электромеханических системах [2].

При разработке имитационной модели энергосберегающего устройства использовалась функциональная схема устройства, представленная на рис. 1. Она содержит следующие основные блоки: СГ – синхронный генератор; УВ – управляемый выпрямитель; ВИ – ведомый инвертор; L – сглаживающий реактор; Т – согласующий трансформатор; СУ – система управления.

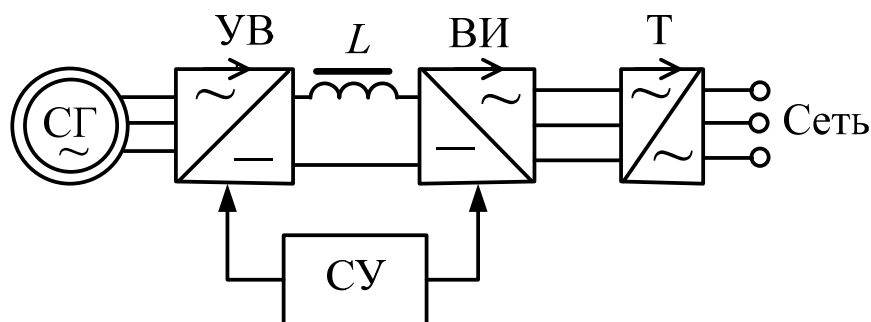


Рис. 1. Структурная схема устройства нагрузки

Моделирование устройства нагрузки выполнено в программной среде MATLAB с использованием блоков пакетов расширения SimPowerSystems и Simulink. При создании имитационной модели использовались как стандартные блоки библиотек пакетов расширения SimPower-Systems и Simulink, так и вновь разработанные. В состав модели (рис. 2) входят следующие основные блоки: синхронный генератор SG, полупроводниковые преобразователи UZ1 и UZ2, системы импульсно-фазового управления SIFU1 и SIFU2, согласующий трансформатор Т, а также необходимые задающие и измерительные элементы.

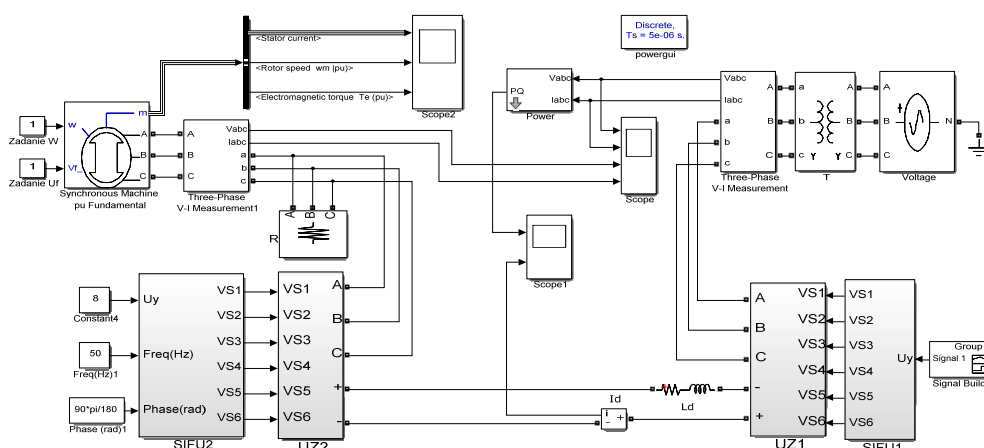


Рис. 2. Имитационная модель энергосберегающего устройства нагружения резервных электродвигателей

Представленная модель позволяет получать как численные значения напряжений, токов и мощностей в различных элементах схемы, так и наблюдать на осциллографе их мгновенные значения. Для примера, на рис. 3 представлены в относительных единицах диаграммы токов в обмотках статора.

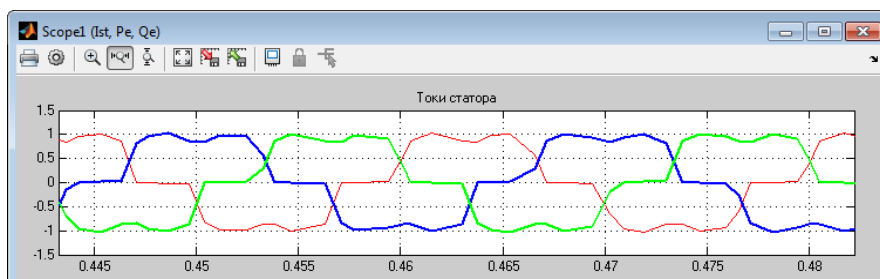


Рис. 3. Диаграммы токов в обмотках статора генератора в относительных единицах

Кроме того, разработанная модель устройства нагружения позволяет решать и ряд других задач:

- производить нагружение испытуемого синхронного генератора в широком диапазоне мощностей;
- изменять коэффициент мощности нагрузки в процессе испытаний;
- определять и анализировать составляющие полной мощности генератора и показатели качества рекуперированной в сеть электроэнергии;
- реализовывать различные алгоритмы управления полупроводниковыми преобразователями.

Литература

1. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электродвигателей / М. Н. Погуляев, А. А. Смахтин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – С. 399–401.
2. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

УДК 621

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В. В. Тодарев, А. С. Зайцев

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

Известен способ управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме колебательного движения, согласно которому питание обмоток статора двигателя осуществляется переменным током одинаковой амплитуды и одной частоты со сдвигом по фазе на $\frac{\pi}{2}$, ток одной фазы модулируется по амплитуде гармоническим сигналом, ток другой фазы – выпрямленным гармоническим сигналом.

Недостатком данного способа является низкий коэффициент полезного действия (КПД) из-за больших потерь мощности в обмотках двигателя, обусловленных высокими значениями скольжения $S(t)$ из-за синусоидального закона колебательного движения, и появления при нескомпенсированной инерционной нагрузке интервала движения, соответствующего режиму противовключения:

$$s(t) = \frac{\omega_1(t) - \omega_p(t)}{\omega_1(t)} = \frac{\omega_{1m} \operatorname{sign}|\sin \Omega t| - \omega_{pm} \sin(\Omega t - \varphi_k)}{\omega_{1m} \operatorname{sign}|\sin \Omega t|},$$

где $\omega_{1m} = \frac{2\pi f_1}{p}$ – угловая частота вращения поля статора, рад/с; p – число пар полюсов; f_1 – частота источника питания, Гц; $\Omega = 2\pi f_k$, f_k – частота колебаний, Гц; ω_{pm} – амплитуда угловой частоты колебаний ротора, рад/с; φ_k – механический фазовый сдвиг относительно поля статора, вызванный инерционной нагрузкой, рад.

Среднее за полупериод колебаний значение скольжения S_{cp} может быть близким к единице.

Также существует способ управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем и упругим элементом, соединенным с его валом. Способ заключается в том, что измеряют скорость вала двигателя и включают питание двигателя переменным током по результатам измерения скорости, в каждом полупериоде колебаний сравнивают измеренную скорость с заданной величиной, двигатель питают до тех пор, пока его скорость превышает заданную величину, а затем отключают.

По сути это асинхронный колебательный электропривод с импульсной подпиткой колебательного контура механической энергией.

В данном способе управления асинхронным колебательным электроприводом инерционная составляющая нагрузки скомпенсирована упругим элементом, а среднее за время импульса питания двигателя скольжение уменьшено до величины, при котором преобразование энергии в двигателе будет наиболее эффективно.

Недостатком данного способа является ограниченный диапазон применения по активной составляющей нагрузки и (или) частоте колебаний, поскольку их увеличение ведет к снижению амплитуды колебаний ротора, росту скольжения больше номинального, росту потерь мощности в обмотках двигателя, снижению КПД. При значительных активных нагрузках и (или) частотах колебаний даже минимальное в течение полупериода колебаний скольжение $s_{\min}(t)$ может оказаться значительно больше номинальной величины.

Целью работы является расширение рабочего диапазона асинхронного колебательного электропривода с импульсным питанием двигателя и с упругим элементом на его валу с сохранением КПД, равным или близким к номинальному при изменении активной нагрузки и (или) частоты колебаний.

Задача решается тем, что в способе управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем с упругим элементом на его валу измеряют скорость вала двигателя и включают питание двигателя переменным током по результатам измерения скорости, в каждом полупериоде колебаний сравнивают измеренную скорость с заданной величиной, двигатель питают до тех пор, пока его скорость превышает заданную величину, а затем отключают согласно изобретению, устанавливают такую частоту переменного тока и соответственно угловую частоту вращения поля статора $\omega_1(t)$, чтобы среднее за время питания двигателя скольжение $S_{\text{ср}}$ было равно номинальному $S_{\text{ном}}$.

УДК 621.17

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ШТАТНОЙ РАБОТЫ

Д. Г. Зуборев, Н. В. Степанцов, Е. А. Храбров

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

Данная работа относится к исследованиям систем автоматического управления и предназначена для определения их частотных характеристик в процессе непрерывной работы с целью возможной дальнейшей их корректировки для стабилизации и повышения быстродействия.

Основной задачей предлагаемого определителя является измерение частотных характеристик управляемой системы в процессе ее штатной работы, которое достигается подачей на вход системы тестового сигнала, состоящего из нескольких синусоидальных сигналов разной частоты. В результате корреляции отклика системы на тестовый сигнал с входным тестовым сигналом определяются несколько точек амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик разомкнутой системы.

Известен способ [1] определения запасов устойчивости рулевого привода и устройство для его осуществления, в котором вначале снимают логарифмическую частотную характеристику участка контура электромеханической и силовой части привода путем подачи на его вход гармонического сигнала, например от анализатора частотных характеристик, а затем задают на вход привода нулевой сигнал, нагружают выходное звено привода гармонической силой, например нагрузателем, на вход которого подают гармонический сигнал от второго анализатора частотных характеристик и снимают логарифмическую частотную характеристику электрической части системы управления. По сумме логарифмических частотных характеристик получают логарифмическую частотную характеристику разомкнутого контура привода и по ней определяют запасы устойчивости привода по амплитуде и по фазе. Недостатком этого способа является необходимость определения логарифмической частотной характеристики разомкнутого контура привода в два этапа при отключении из рабочего режима, что увеличивает время испытаний и не позволяет оперативно корректировать нужные характеристики привода.

Наиболее близкой к предлагаемому определителю является адаптивная электрогидравлическая следящая система с модулированной осцилляцией [2]. Недостатком

этой системы является невозможность определять амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики коэффициента передачи одновременно на нескольких частотах и невозможность коррекции всей характеристики для повышения точности отработки системой требуемого воздействия, особенно с учетом влияния меняющейся нагрузки.

Техническим результатом применения определителя является оценка АЧХ и ФЧХ разомкнутой системы. При этом коэффициент передачи может изменяться одновременно на нескольких частотах, так как управляемая система непрерывно работает в штатном режиме. Технический результат достигается за счет введения в определитель многовыходного генератора осцилляции, сигналы с выходов которого перемножены на 1 или -1 , полученные с выходов клеточных автоматов. Кроме манипулирования фазой, с помощью клеточных автоматов применяется также регулирование амплитуд этих составляющих. В системе [2] используется только одна частота для сигнала осцилляции. В предлагаемом определителе используется несколько сигналов разных частот и амплитуд, которые суммируются.

Использование нескольких сигналов дает преимущества (более полное определение АЧХ и ФЧХ), но и имеет свои недостатки. Например, если много сигналов совпадут по фазе, то сумма их амплитуд может привести к перегрузке системы по амплитуде и неправильному ее функционированию. Чтобы уменьшить вероятность проявления перегрузок, предлагается использовать два подхода. Первый подход заключается в уменьшении амплитуд низкочастотных сигналов. В электрогидравлической системе каждый гидроцилиндр является интегратором. И соответственно влияние амплитуд низкочастотных сигналов осцилляции наиболее велико. В общем случае, амплитуда сигнала осцилляции устанавливается прямо пропорционально его частоте. Вторым подходом является фазовая модуляция составляющих сигналов осцилляции псевдослучайными двоичными последовательностями. Псевдослучайные двоичные последовательности содержат в себе символы 1 или -1 , умножение на которые дает инвертирование фазы сигнала. Если вначале сигналы были синфазны, что вызывало биения, то затем они находятся в противофазе и взаимно уменьшают биения.

При этом накопление энергии измеряемого сигнала путем корреляции с копией зондирующего сигнала осцилляции обеспечивает достаточное превышение измеряемого сигнала над уровнем случайного шума и соответственно требуемые точность и надежность определения значений АЧХ и ФЧХ. Выбор видов обратных связей в клеточных автоматах 8, описанный в [3], позволяет обеспечить некоторую квазиортогональность сигналов осцилляции и дополнительную надежность работы определителя.

Литература

1. Способ определения запасов устойчивости рулевого привода и устройство для его осуществления : пат. РФ № 2474829 / Л. М. Корякин, В. Я. Потетенькин, Г. С. Берко. – МПК G 01R 23/00, G 05B 23/00 ; опубл. 10.02.2013.
2. Адаптивная электрогидравлическая следящая система с модулированной осцилляцией : заявка РФ. – Рег. № 2016129373 от 19.07.2016, МПК G 05 B 13/02, F 15 B 9/03.
3. Мурашко, И. А. Методика проектирования генератора псевдослучайных тестовых последовательностей на клеточных автоматах с расширенным набором правил / И. А. Мурашко, Д. Е. Храбров // Вестн. Моск. гос. ун-та приборостроения и информатики. – 2013. – № 47 – С. 78–93.

УДК 551.508;556.51;504.75;621.317.39.084.2

**РАСПРАЦОЎКА АЎТАМАТЫЗАВАНАЙ СТАНЦЫІ
ГІДРАМЕТЭАРАЛАГІЧНАГА/ЭКАЛАГІЧНАГА МАНІТОРЫНГУ
(АНMES) У РАМКАХ МІЖНАРОДНАГА ПРАЕКТА
«THEOREMS-DNIPRO»**

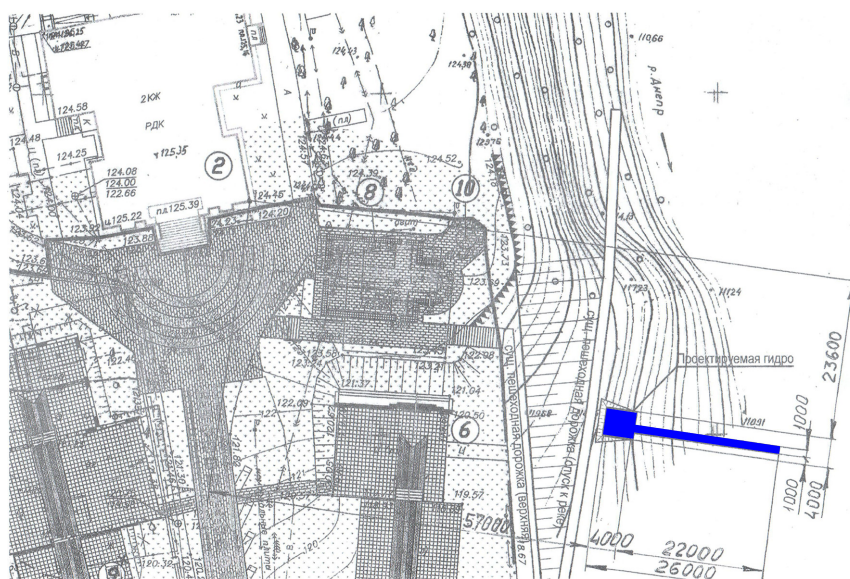
**Ю. В. Крышнеў¹, У. Д. Якавец¹, В. А. Хананаў¹, Л. А. Захаранка¹,
А. У. Сахарук¹, Я. Г. Цімашэнка¹, В. А. Патапенка²**

¹Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт
імя П. В. Сухого», Рэспубліка Беларусь;

²Дзеснянскае басейнавае ўпраўленне водных рэсурсаў, г. Чарнігаў,
Украіна

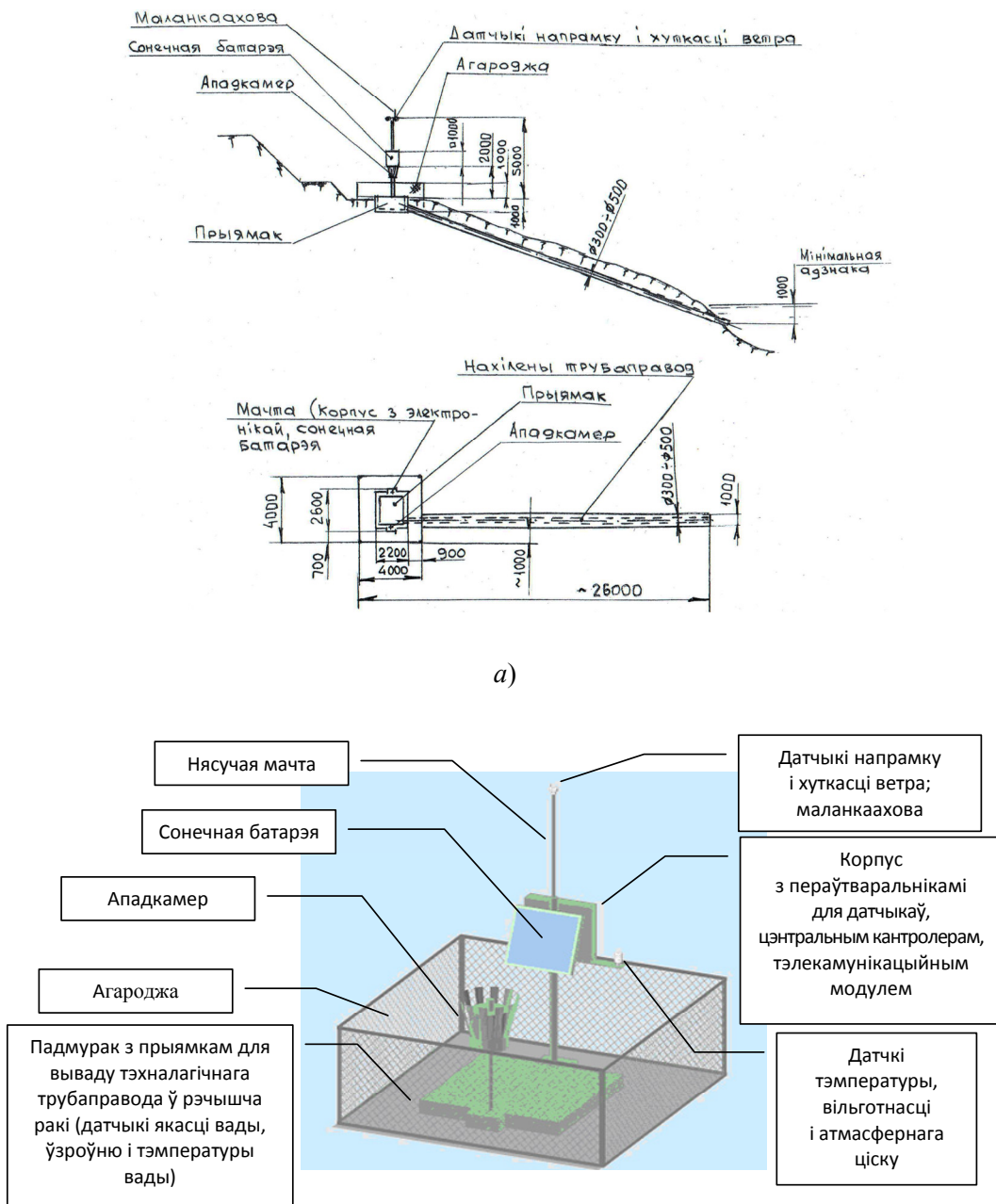
Пачынаючы з 30 лістапада 2017 г., па Першай праграме тэрытарыяльнага супрацоўніцтва для краін Усходняга партнёрства «Беларусь–Украіна», якая фінансуецца Еўрапейскім Саюзам, рэалізуецца праект «THEOREMS-Dnipro. Transboundary Hydrometeorological and Environmental Monitoring System of Dnipro river» (Трансгранічная сістэма гідраметэаралагічнага і экалагічнага маніторынгу ракі Дняпро).

Згодна з праектам, плануецца рапрацоўка і ўсталяванне у Рэспубліцы Беларусь і Украіне па адной аўтаматызаванай станцыі гідраметэаралагічнага/экалагічнага маніторынгу (Automated HydroMeteorological/Environmental Station, АНMES). Станцыі будуць укамплектаваны комплексам сучасных вымяральных, інфармацыйных і тэлекамунацыйных сродкаў і разлічаны на сілкаванне пераважна ад прыродных крыніц энергіі. Па ўмовах праекта станцыі АНMES будуць узведзены ў месцах шматгадовых гідралагічных назіранняў трансгранічнай зоны ракі Дняпро. У якасці такога месца на беларускім баку запланаваны гідрапост «Лоеў», а на ўкраінскім баку – гідрапост «Любеч». Для прыкладу, аптымальнае месцаванне станцыі, запланаванае выканаўцамі праекта ў г. п. Лоеў (Рэспубліка Беларусь), паказана на генеральным плане мясцовасці цэнтральнай часткі горада на мал. 1.



Мал. 1. Запланаванае месцаванне беларускай станцыі АНMES на павялічаным фрагменце генеральнага плана мясцовасці г. п. Лоеў з пазначэннем памераў станцыі

Распрацаваная эскізная канструктыўная кампанойка станцыі AHMES і яе папярэдняя 3D-мадэль паказаны на мал. 2.



б)

Мал. 2. Канструктыўная кампанойка (а) і папярэдняя 3D-мадэль канструкцыі (б) станцыі AHMES



The project is co-funded by the European Union

УДК 621.396.6

ФИЛЬТР КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ**С. Н. Кухаренко, Ю. Е. Котова, Ю. А. Козусев***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Развитие силовых полупроводниковых преобразователей требует адекватного совершенствования устройств подавления кондуктивных помех. Существующие принципы подавления напряжения на зажимах устройств не совсем соответствуют современным требованиям. Необходимо разработать новые топологические и схемные решения, основываясь на использовании современных материалов и компонентов.

Цель работы: исследование частотных характеристик комплексного сопротивления компонентов, а также фильтра кондуктивных помех, применяемого в электроприводах, и совершенствование технологии подавления помех на основе этих исследований.

При выполнении исследований использован программно-аппаратный комплекс векторного измерения частотных характеристик коэффициентов передачи и вольт-амперных характеристик сопротивлений. Измерение комплексных параметров позволяет измерять реальные частотные характеристики компонентов и топологических решений.

Достоверность результатов измерений подтверждена сопоставлением частотных характеристик измеренных значений и аналитической частотной характеристики схемы замещения. Например, результаты сопоставления схемы замещения катушки индуктивности для параметров $C_X = 1,025 \cdot 10^{-10}$ мкФ; $R_X = 7200$ Ом; $L_X = 2,43 \cdot 10^{-3}$ Гн представлены на рис. 1.

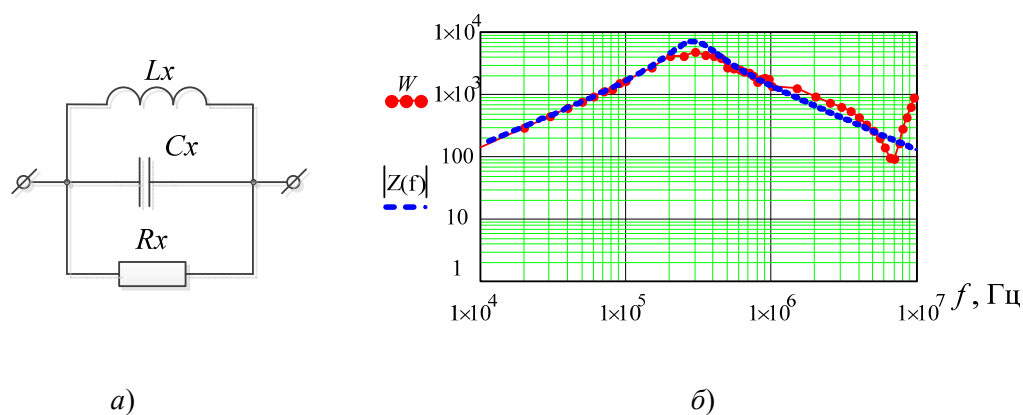


Рис. 1. Схема замещения катушки индуктивности (а) и ее частотная характеристика (б): W – измеренные значения, $Z(f)$ – аппроксимированная характеристика

Информация о параметрах схем замещения компонентов позволяет переходить к схемам фильтров с последующим анализом их работы в частотной области.

В существующей практике помехоподавления используют проходные конденсаторы серии К72П-3, К73-28, К75П-4, К75-42, КБП. Эти комплектующие имеют малый импеданс и высокую добротность и позволяют получать хорошее ослабление сигнала помехи. Однако они имеют высокую стоимость и за счет высокой добротности могут создавать паразитные контуры с накоплением тока помех.

В настоящее время появился другой подход к проектированию фильтров. Он заключается не в формировании высокодобротных цепей с малыми импедансами, а в соз-

дании цепей, поглощающих высокочастотную электромагнитную энергию. В таких решениях большее значение уделяют поглощающим устройствам – дросселям, поглотителям поверхностных токов [1]. Однако импеданс таких компонентов сильно зависит от технологических и топологических решений, что сложно учесть при проектировании таких устройств. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет анализировать частотные характеристики компонентов и фильтров на их основе, что, в свою очередь, дает возможность подобрать наиболее удачное решение. На рис. 2 приведены амплитудно-частотные характеристики разработанного кондуктивного фильтра с использованием индуктивностей, обмотки которых выполнены различными технологическими приемами и, соответственно, имеют различную топологию.

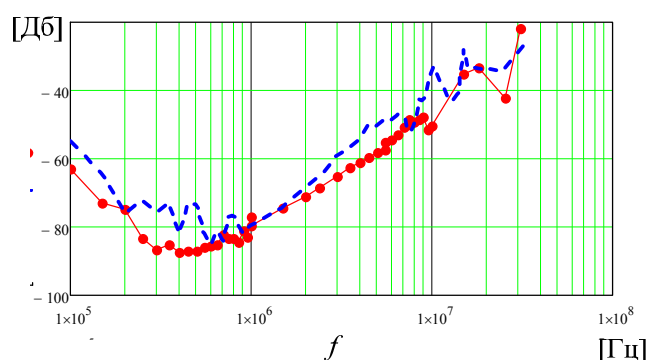


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики разработанного фильтра с разными топологическими решениями

Приведенные на рис. 2 характеристики наглядно демонстрируют преимущества технологии выполнения обмотки.

Разработана методика проектирования фильтров и измерения их параметров в частотном диапазоне, которая позволяет разрабатывать топологические и схемные решения с использованием современных технических решений.

Литература

1. Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения : ГОСТ CISPR 16-2-1–2015.

УДК 504.75;621.317.39.084.2

ДАТЧИК КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАНЦИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО/ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АНМЕС

Ю. В. Крышнев¹, В. А. Хананов¹, О. М. Ростоккина¹,
В. Д. Яковец¹, С. Н. Кухаренко¹, В. М. Безручко²

¹ Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

² Черниговский национальный технологический университет, Украина

Экологический мониторинг (т. е. проведение регулярных наблюдений за гидрохимическими показателями) позволит осуществлять оценку и прогноз состояния поверхностных вод в целях своевременного выявления негативных процессов и предот-

вращения их вредных последствий для экосистемы контролируемой части реки [1]. В целях проведения непрерывного экологического мониторинга на станции АНМЕС (международный проект «THEOREMS-Dnipro») предусмотрена установка комплекса физико-химических датчиков – датчиков экологии воды.

Гидрохимический анализ состояния поверхностных вод проводится специализированным комплексом электрохимических датчиков по следующим основным показателям:

- 1) окислительно-восстановительный потенциал;
- 2) водородный показатель pH;
- 3) концентрация хлоридов Cl^- ;
- 4) концентрация нитратов NO_3^- ;
- 5) температура.

Измерительный комплекс состоит группы ионселективных датчиков, подключенных к измерительному преобразователю, который должен автоматически производить опрос вышеперечисленных датчиков и осуществлять передачу измеренной информации на модуль сбора информации по протоколу RS485.

Согласно требованиям, предъявляемым к отбору проб для проведения экологического мониторинга [2], отбор должен проводиться с глубины 0,25–0,3 м. Поэтому в целях автоматизации этого процесса применяют систему, представленную на рис. 1. Забор проб воды осуществляется с помощью гидростата на глубине 0,3 м. По причине сезонных изменений уровня воды в реке невозможно жестко закрепить датчики экологии на фиксированном уровне. С помощью помпы по гибкой трубе вода поднимается на берег, к станции АНМЕС, расположенной на расстоянии до 26 м от уреза воды в р. Днепр.

Преимущество такого подхода заключается в том, что датчики экологии расположены непосредственно на автоматизированной гидрометеорологической станции, что существенно облегчает их обслуживание. В качестве недостатка следует выделить необходимость установки помпы, которая значительно снизит автономность станции из-за высокого энергопотребления.

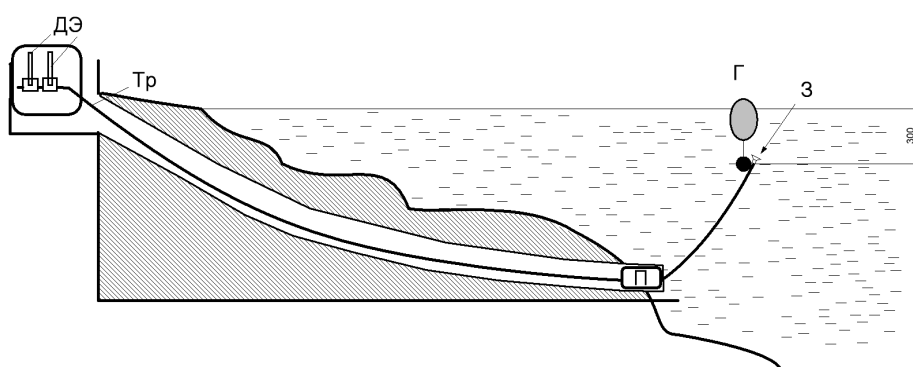


Рис. 1. Способ забора проб воды для проведения анализа:

ДЭ – датчики экологии; Тр – гибкая труба для подачи пробы воды; П – помпа;
Г – гидростат; З – забор воды с высоты 300 мм

Для устранения недостатка, описанного выше, разработан принцип измерений без использования помпы (рис. 2). Согласно данному принципу датчики экологии должны располагаться непосредственно в реке на гидростате. Достоинством такого подхода является минимальное энергопотребление. Недостатком является усложне-

ние обслуживания и увеличение объема гидростата. Также необходима установка водонепроницаемого короба для защиты измерительного преобразователя от попадания влаги.

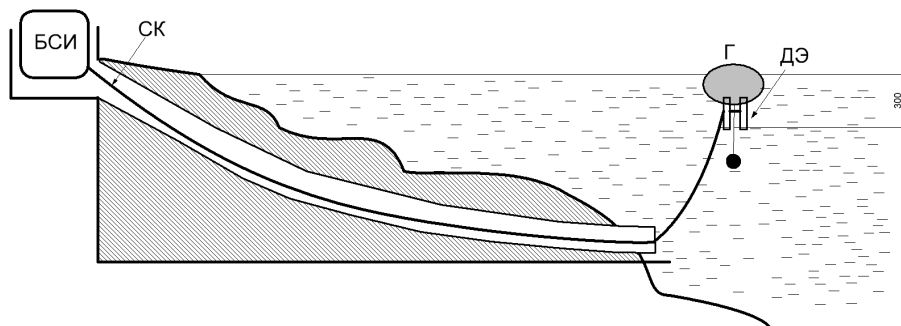


Рис. 2. Способ проведения экологического мониторинга с установкой датчика непосредственно в реке: БСИ – блок сбора информации; СК – соединительный кабель; Г – гидростат; ДЭ – датчики экологии

Заключение. На автоматизированной станции гидрометеорологического/экологического мониторинга АНМЕС контроль экологических параметров воды (качества воды) будет проводиться по одной из схем, представленных на рис. 1 и 2. Окончательный выбор схемы будет произведен после экспериментальных исследований с учетом показателей энергопотребления, стоимости и общей надежности измерительной системы.



The project is co-funded
by the European Union

Л и т е р а т у р а

1. Водный кодекс Республики Беларусь / 30.04.14 № 149-3.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Качество воды. Отбор проб. Часть 6. Руководство по отбору проб из рек и иных водотоков : СТБ 17.13.05-10–2009.

УДК 621.317.39

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ВЫСОКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

Л. А. Захаренко, А. В. Мельников, А. И. Березявка

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

Для многих прикладных применений при обработке аналоговых сигналов требуются усилители с коэффициентом усиления 105 и более. Например, в контрольно-диагностическом снаряде, который используется для определения мест повреждения изоляции, выходной сигнал датчиков находится на уровне десятков микровольт. При построении усилителей с большим коэффициентом усиления разработчик зачастую сталкивается с проблемой обеспечения устойчивой работы усилителя. Неустойчивая

работа усилителя может быть связана с непродуманной разводкой печатной платы, недостаточной фильтрацией по цепям питания, внешними помехами. Если частота полезного сигнала известна, то защита от внешних помех осуществляется «классическим» методом – применением полосно-пропускающего фильтра [1]. Но даже при выполнении всех вышеперечисленных условий не всегда достигается устойчивая работа, что объясняется наличием паразитной связи между выходными и входными каскадами усилителя. Отчасти решить эту проблему получается путем экранирования каскадов усилителя [2].

Для обеспечения устойчивой работы усилителя был спроектирован усилитель с переносом частоты измеряемого сигнала. Структурная схема такого усилителя представлена на рис. 1.

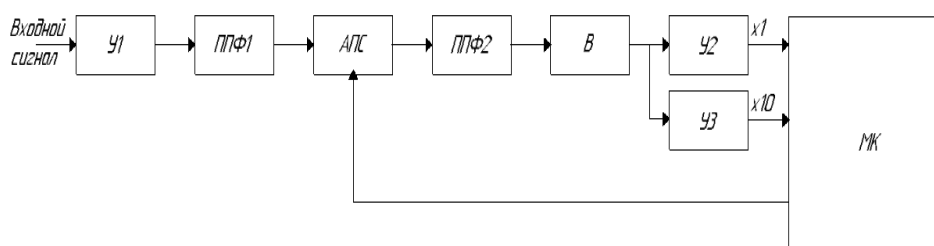


Рис. 1. Структурная схема усилителя с переносом частоты:
 У1, У2, У3 – усилители; ППФ1, ППФ2 – полосно-пропускающие фильтры;
 АПС – аналоговый перемножитель сигнала; В – выпрямитель;
 МК – микроконтроллер

Принцип работы устройства состоит в следующем: входной сигнал поступает на усилитель U_1 , где усиливается до нужного значения; затем сигнал подается на полосно-пропускающий фильтр (ППФ), где обеспечивается избирательное усиление на основной частоте сигнала; после полосно-пропускающего фильтра отфильтрованный сигнал подается на один из входов аналогового перемножителя сигналов (АПС).

На второй вход АПС поступает сигнал, сгенерированный микроконтроллером (МК). В результате перемножения двух гармонических сигналов получится сигнал, основные гармоники которого равны сумме и разности гармоник исходных сигналов [1]. Сигнал с частотой, равной разности гармоник, при прохождении через полосно-пропускающий фильтр (ППФ2) выделится на фоне остальных частот.

Прецизионный выпрямитель преобразует несущую полезный сигнал гармонику в сигнал постоянного тока, а затем усилитель придает ему необходимое усиление ($\times 1$ или $\times 10$).

Постоянная составляющая сигнала после прецизионного выпрямителя поступает на вход АЦП микроконтроллера (МК) для последующей цифровой обработки.

В качестве усилителя используется микросхема AD620 – усилитель для контрольно-измерительной аппаратуры производства компании Analog Devices.

Для фильтрации сигнала используется полосно-пропускающий фильтр, реализованный на микросхеме LTC1064. Эта микросхема позволяет создать цифровой эллиптический ФНЧ 8-го порядка. Максимальная частота среза фильтра может меняться в зависимости от частоты, которая подается на вывод CLK в соотношении 1 : 50 или 1 : 100. Для синтеза схемы фильтра и расчета резисторов, задающих полосу пропускания, существует соответствующий пакет схемотехнического моделирования. Пример проектирования схемы представлен на рис. 2.

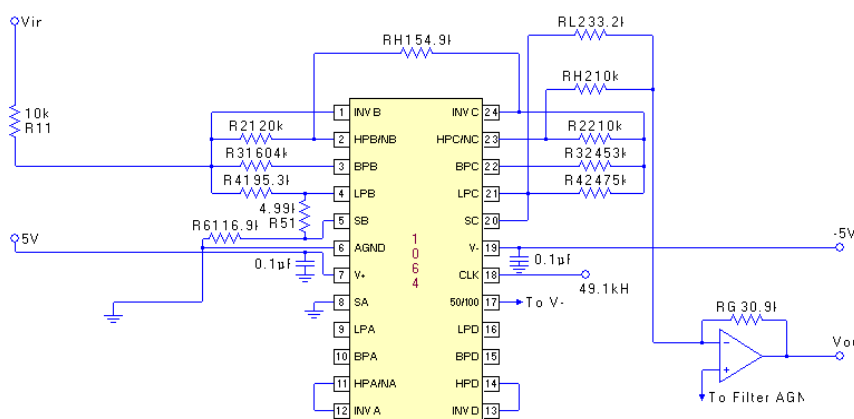


Рис. 2. Проектирование схемы полосно-пропускающего фильтра на микросхеме LTC1064

Для переноса частоты измеряемого сигнала в схеме использована микросхема AD633 – полнофункциональный четырехквadrантный аналоговый перемножитель сигналов с погрешностью 2 % от полной шкалы, на один вход которого подается измеряемый сигнал, а на другой вход – прямоугольный сигнал опорной частоты, формируемый МК.

В результате перемножения переменных сигналов получится сигнал, гармоники которого равны сумме и разности частот входных сигналов. Полосно-пропускающий фильтр ППФ2 на микросхеме LTC1064 настроен на разностную частоту. После фильтра сигнал поступает на прецизионный выпрямитель, который преобразует полезный сигнал в сигнал постоянного тока, а затем происходит усиление ($\times 1$ или $\times 10$). Далее данные поступают на микроконтроллер, где осуществляется их программная обработка.

Литература

1. Мансуров, Н. Н. Теоретическая электротехника / Н. Н. Мансуров, В. С. Попов. – М. : Энергия, 1966.
2. Волович, Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств : учеб. для вузов / Г. И. Волович. – М. : Додэка-XXI, 2005. – 528 с.

УДК 621.17

ВСТРОЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И СБОРА СТАТИСТИКИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЕСКОСОЛЕРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ С ЭЛЕКТРОГИДРОФИЦИРОВАННЫМ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов, Д. В. Ковалев

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

Для обеспечения безопасности движения по дорогам общего пользования в зимний период используется большое количество комбинированных дорожных машин (КДМ) различного функционального назначения. Порядка 65 % – это пескосоле-распределительные комплексы с возможностью уборки дорожного полотна при помощи

навесного оборудования. Как правило, вышеупомянутые КДМ оборудованы электронными системами управления [1], [2], которые позволяют обеспечить регулировку параметров работы рабочего оборудования в ручном и автоматическом режиме.

В большинстве случаев результат работы КДМ зависит либо от профессионализма и исполнительности водителя-оператора или надзорной контролирующей службы, которая следует за КДМ. Функцию контроля можно возложить на электронную систему мониторинга режимов работы КДМ, что сократит влияние человеческого фактора и затраты.

Для реализации подобного подхода наиболее часто используется блок мониторинга с передачей данных по GPRS-каналу. В этом случае информация о работе рабочего оборудования снимается с исполнительных механизмов КДМ, что может привести к снятию с гарантии по причине вмешательства третьих лиц или выводу из строя электронного оборудования.

В докладе рассматривается подход реализации расширенной системы мониторинга с использованием средств электронной управляющей системы КДМ. Система мониторинга имеет два внешних канала для передачи данных – интерфейс USB и разъем с параллельной передачей данных о работе оборудования на системы онлайн и офлайн мониторинга сторонних производителей. Основное отличие от подобных решений заключается в наличии встроенного мониторинга средствами флэш-памяти, в которую вносятся два типа данных – статистика за смену и общая статистика за весь период эксплуатации оборудования. Для настройки параметров мониторинга (интервала времени, типа материала и т. д.) и обнуления статистики предусмотрена отдельная парольная аутентификация пользователя. Через настраиваемый интервал времени эти данные сохраняются в файле на внешнем USB носителе, что позволяет по приезду КДМ на базу перенести эти данные диспетчеру или мастеру в базу данных.

Такой подход позволяет эксплуатирующей организации не тратиться на дооборудование парка своей техники дополнительными дорогостоящими системами мониторинга с затратами на поддержку программного обеспечения и при этом иметь возможность контролировать и учитывать ресурсы, затраченные на поддержание дорог в соответствии с существующими требованиями.

Л и т е р а т у р а

1. Кузнецов, Л. А. КДМ российского производства. Отечественные комбинированные дорожные машины и сменное рабочее оборудование для них / Л. А. Кузнецов // Основные средства. – 2004. – № 4. – С. 42–45.
2. Свешников, В. К. Гидрооборудование мобильных машин / В. К. Свешников. – М. : ООО «Паркер Ханнифин», 2010. – 339 с.

УДК 621.17

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Ковалев, В. А. Карпов, Д. А. Литвинов, Д. В. Ковалев

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

Для обеспечения безопасности движения на автомобильных дорогах в зимний период времени используются различные виды комбинированных дорожных машин (КДМ). Для удаления снежного покрова и наледи используются механические спо-

собы уборки и распределение противогололедных материалов (ПГМ): соль, жидкий реагент, пескосоль, песок и гранитная крошка [1]. Вид противогололедного средства зависит, как правило, от бюджета дорожной эксплуатирующей организации и температуры окружающей среды. Каждому из ПГМ присущи достоинства и недостатки [2]. При температуре дорожного полотна до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ экономически целесообразнее и экологичнее использовать жидкие ПГМ, которые, в свою очередь, обеспечивают более высокую скорость очистки дороги от наледи.

Для распределения и дозирования жидких ПГМ наиболее часто используются два способа:

- нанесение ПГМ на дорожное полотно путем разбрасывания вращающимися дисками, на которые реагент попадает и дозируется управляемым насосом из бака;
- нанесение ПГМ на дорожное полотно путем распределения форсунками напорной рампой, в которой или поддерживается неизменным давление, или через которую регулируется расход реагента.

Преимущества второго способа – равномерность распределения и более высокая эффективность. Однако техническая реализация для работы в автоматическом режиме с привязкой скорости движения КДМ и обеспечения заданной плотности распределения жидких ПГМ имеет ряд трудностей: усложнение алгоритма работы из-за наличия большего количества исполнительных механизмов и влияние неидентичности параметров регулирующих и распределяющих компонентов системы на ее градуировочную характеристику в целом.

В работе рассматривается способ управления форсунками напорной рампой и управляемой задвижкой, которая регулирует расход в рампу от насоса постоянной производительности подачи жидких ПГМ. Для реализации регулировки ширины распределения ПГМ и плотности форсунки объединены в группы с разной производительностью и направлением распыла. Требуемая плотность распределения ПГМ достигается путем открытия задвижки на заданный угол согласно градуировочной характеристике в зависимости от эффективной площади открытых форсунок.

При испытаниях было выявлено, что при работе на малых расходах или при низких скоростях движения КДМ проявляется эффект гистерезиса пропускной способности задвижки при малых углах ее открытия вследствие особенностей конструктивного исполнения уплотнения. Это обстоятельство не давало возможности работать по восходящей характеристике с требуемой погрешностью распределения ПГМ. Для устранения этого явления в управляющий сигнал системы управления задвижкой на малых углах было введено перерегулирование для восходящей характеристики, что позволило уменьшить влияние гистерезиса более чем в три раза, не изменив при этом динамические и точностные характеристики системы распределения жидких ПГМ в целом.

Применение подобного подхода управления для КДМ с рамповой системой распределения жидких реагентов позволяет расширить динамический диапазон режимов распределения жидких ПГМ при сохранении заданной точности их дозирования для автоматического режима работы оборудования.

Л и т е р а т у р а

1. Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия : СТБ 1158–2013. – Взамен СТБ 1158-2008 ; введ. 01.07.2014. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2014. – 16 с. : ил. (Гос. стандарт Респ. Беларусь).
2. Противогололедные реагенты и их влияние на природную среду / Л. Ф. Николаева [и др.]. – М. : Диалог-МГУ, 1998. – 60 с.

УДК 551.508;556.51;504.75;621.317.39.084.2;620.91

РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕКИ ДНЕПР

А. С. Ревко¹, А. А. Велигорский¹, А. Л. Приступа¹, Ю. В. Крышнев²

¹Черниговский национальный технологический университет, Украина

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

В последнее время возрастает число аномальных природных катаклизмов и техногенных явлений, приводящих к быстрому повышению уровня больших и малых рек, изменения экологических параметров воды. В связи с этим возрастает роль станций мониторинга гидрометеорологических и экологических параметров. Для повышения эффективности мониторинга сеть таких станций постоянно расширяется, при этом часто они устанавливаются в местах, удаленных от системы централизованного электроснабжения. В качестве источников энергии таких объектов применяются возобновляемые источники энергии (фотоэлектрические панели, гидрогенераторы, ветрогенераторы). Целью международного проекта «THEOREMS-Dnipro» является возведение двух автономных станций гидрометеорологического/экологического мониторинга реки Днепр в приграничном украинско-белорусском районе. Питание данных станций будет осуществляться от фотоэлектрических панелей. Для обеспечения эффективной работы станций, оптимизации массогабаритных показателей важно правильно выбрать мощность фотоэлектрических панелей и емкость аккумулятора системы питания. Исходной информацией для этого служат данные об уровнях напряжения питания и токе потребления каждого датчика и элемента станции. Структурная схема блока питания станции мониторинга представлена на рис. 1.

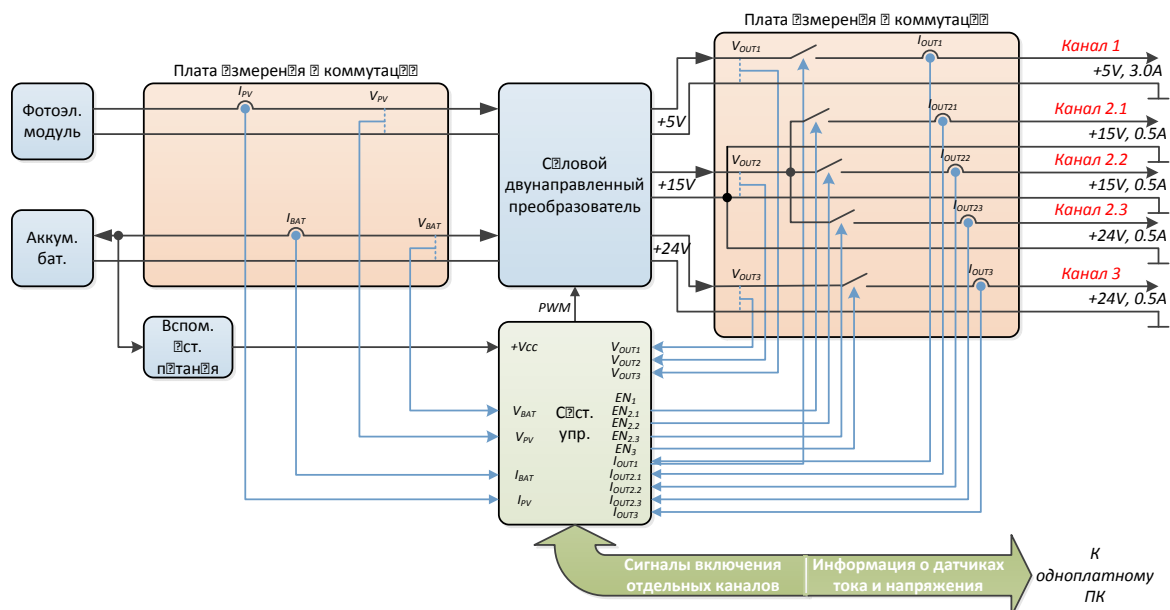
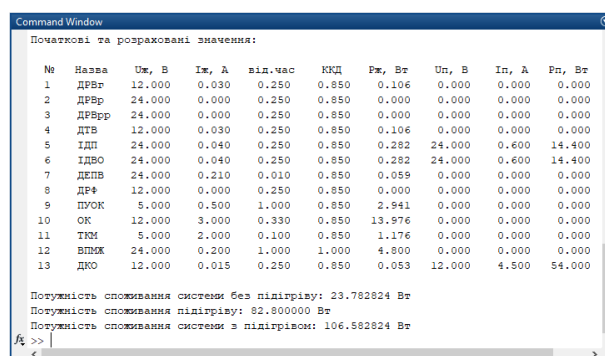


Рис. 1. Структурная схема системы питания станции мониторинга

Рассмотрим назначение ее составных частей. Фотоэлектрический модуль необходим для получения электрической энергии от солнечного излучения. Аккумуляторная батарея используется для питания системы при недостатке солнечной мощности (ночь, облачность и т. п.). Две платы измерения и коммутации используются для контроля текущего состояния системы и подключения источников и потребителей энергии. Силовой двунаправленный преобразователь формирует необходимые напряжения для питания системы, а также обеспечивает заряд и питание от аккумуляторной батареи. Система управления преобразователем контролирует текущие значения параметров, и по запросу с одноплатного компьютера (центрального контроллера всей информационно-измерительной системы) осуществляет необходимую коммутацию потребителей. Вспомогательный источник питания используется для питания системы управления.

Для расчета системы питания (выбор фотоэлектрического преобразователя, аккумуляторной батареи и др.) необходимо рассчитать суммарную потребляемую мощность всех потребителей электрической энергии, для чего был разработан соответствующий скрипт, позволивший автоматизировать процесс расчета и заложить возможность оптимизации проектных решений по системе питания. На рис. 2 приведен результат работы скрипта для одного из вариантов системы.



Command Window

Початкові та розраховані значення:

№	Назва	Uж, В	Iж, А	від. час	ККД	Pж, Вт	Uп, В	Iп, А	Pп, Вт
1	ДРВг	12.000	0.030	0.250	0.850	0.106	0.000	0.000	0.000
2	ДРВр	24.000	0.000	0.250	0.850	0.000	0.000	0.000	0.000
3	ДРВрр	24.000	0.000	0.250	0.850	0.000	0.000	0.000	0.000
4	ДТВ	12.000	0.030	0.250	0.850	0.106	0.000	0.000	0.000
5	ІДП	24.000	0.040	0.250	0.850	0.282	24.000	0.600	14.400
6	ІДВО	24.000	0.040	0.250	0.850	0.282	24.000	0.600	14.400
7	ДЕПВ	24.000	0.210	0.010	0.850	0.058	0.000	0.000	0.000
8	ДР*	12.000	0.000	0.250	0.850	0.000	0.000	0.000	0.000
9	ПРСК	5.000	0.500	1.000	0.850	2.941	0.000	0.000	0.000
10	ОК	12.000	3.000	0.330	0.850	13.976	0.000	0.000	0.000
11	ТМ	5.000	2.000	0.100	0.850	1.176	0.000	0.000	0.000
12	ВПКЖ	24.000	0.200	1.000	1.000	4.800	0.000	0.000	0.000
13	ДКО	12.000	0.015	0.250	0.850	0.053	12.000	4.500	54.000

Потужність споживання системи без підігріву: 23.782824 Вт
Потужність споживання підігріву: 82.800000 Вт
Потужність споживання системи з підігрівом: 106.582824 Вт

Рис. 2. Пример результатов работы скрипта

В качестве входных параметров используются напряжения и токи всех потребителей электрической энергии в системе, КПД каждого преобразователя и относительное время работы каждого элемента системы. Так, например, в соответствии с [1]–[3] съём показаний с датчиков может происходить не непрерывно, а несколько раз в час, что позволяет подавать питание на датчики только в момент измерений, сокращая таким образом энергозатраты.

Кроме того, в расчетах и разработанном скрипте учтено, что одноплатный компьютер и телекоммуникационный модуль, входящие в состав системы мониторинга, периодически переводятся режим пониженного энергопотребления, а датчики ветра [4] и датчики осадков [5] в холодное время года работают в режиме с подогревом.

Таким образом, используя разработанный скрипт, можно оперативно вычислять потребляемую мощность системы станции мониторинга с целью ее оптимизации.



The project is co-funded
by the European Union

Литература

1. ТКП 17.10-08/1–2008 (Республика Беларусь). Правила проведения гидрологических наблюдений и работ. Часть 1.
2. ТКП 17.10-16–2009 (Республика Беларусь). Правила проведения гидрометеорологических наблюдений и работ на озерах и водохранилищах.
3. ТКП 17.10-23–2010 (Республика Беларусь). Правила организации государственной сети гидрометеорологических измерений и сети наблюдений для целей мониторинга окружающей среды.
4. Техническое описание WINDCAP Ultrasonic Wind Sensor WXT532. – Режим доступа: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WXT532-Datasheet-B211593EN-B.pdf>.
5. Техническое описание ОТТ Pluvio² – Weighing Rain Gauge <https://www.ott.com/en-us/products/accessories-109/ott-pluvio2-weighing-rain-gauge-963/>.

УДК 621.391.07

**ВЫБОР ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ФИЛЬТРА
ДЛЯ КАНАЛА НИЗКОЧАСТОТНОЙ СВЯЗИ****В. В. Щуплов, С. Н. Кухаренко, Н. А. Красовская***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Эксплуатация подземных и внутритрубных устройств требует применения канала связи и управления. В настоящее время основной функцией такого канала является обнаружение внутритрубного устройства. Частотный диапазон таких каналов связи находится в диапазоне 10–22 Гц. Использование этого частотного диапазона для управления и телеметрии связано с рядом технических проблем. Прежде всего, это высокий уровень помех промышленной частоты 50 Гц, а также низкая скорость передачи информации.

Чтобы передать соответствующую команду на приемное устройство технологического оборудования, необходимо кодировать этот сигнал и модулировать несущую частоту. В данном случае в качестве несущей используется частота 22 Гц, а передача информации осуществляется фазоманипулированным сигналом. Вид фазоманипулированного сигнала и его спектральный состав представлен на рис. 1.

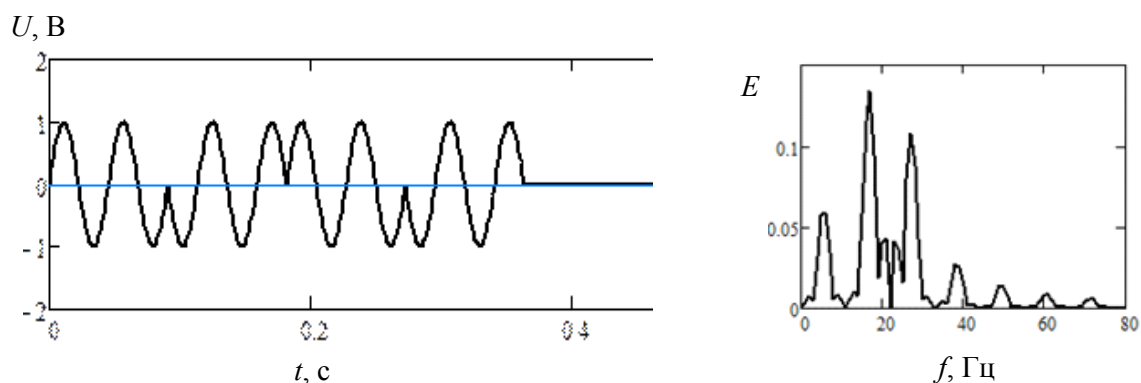


Рис. 1. Осциллограмма фазоманипулированного сигнала (а) и его частотный спектр (б)

Как показали предварительные исследования электромагнитной обстановки, наиболее сильные помехи сосредоточены на частотах от 1 до 10 Гц и 50 Гц. Эти частоты находятся в частотном спектре фазоманипулированного сигнала (рис. 1, б). Уровень помех настолько велик, что может приводить к перегрузке входных цепей усилителя. Перегрузка усилителя вызовет искажение сигнала и потерю передаваемой информации. Так же важно сохранить максимум энергии передаваемого сигнала в частотном спектре для возможности восстановления кодовой последовательности в принимаемом сигнале.

Таким образом, полоса пропускания избирательного усилителя приемника определена двумя обстоятельствами:

– для повышения помехоустойчивости необходимо выполнить полосовую фильтрацию принимаемого сигнала и помех в как можно более узком диапазоне частот, чтобы исключить возможные перегрузки усилителей. При этом неизбежно искажение полезного сигнала;

– с целью минимального искажения полезного сигнала необходимо сохранить максимально возможное значение энергии сигнала в частотной полосе.

Для решения задачи выбора разработана математическая модель полоснопропускающего фильтра 12-го порядка. Математическое моделирование показало, что фильтрация помехи в диапазоне от 0 до 10 Гц приводит к сильному искажению сигнала, а в диапазоне выше 35 Гц не оказывает столь существенного влияния. Моделирование позволило найти компромисс – ограничить полосу пропускания фильтра диапазоном частот от 8 до 35 Гц. Выбранная амплитудно-частотная характеристика представлена на рис. 2.

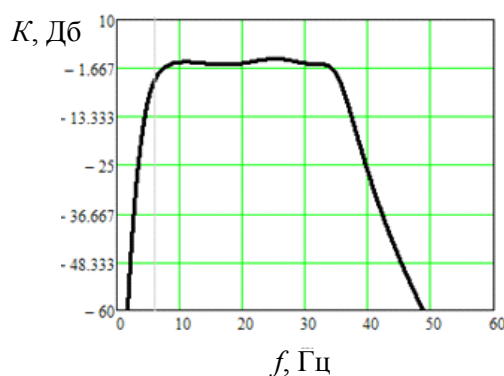


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика фильтра

При разработке фильтра стояла задача допустимого искажения фазоманипулированного сигнала, при котором приемное устройство различает фазовые манипуляции. Приведенная частотная характеристика была реализована на фильтре 12-го порядка.

Результаты математического моделирования сигнала после фильтрации приведены на рис. 3, из которого видно, что полосу пропускания фильтра можно ограничить полосой от 8 до 35 Гц. При этом обработка сигнала в приемнике еще позволяет определить кодовую комбинацию исходного фазоманипулированного сигнала.

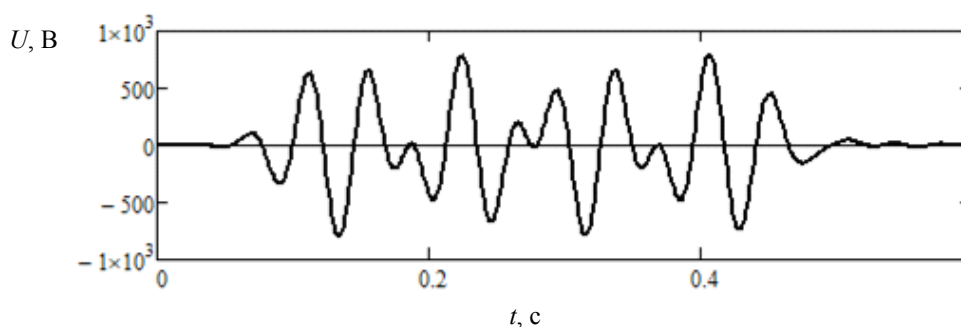


Рис. 3. Сигнал на выходе фильтра

Результаты математического моделирования подтверждены экспериментально при проведении испытаний технологического внутритрубного устройства.

Литература

1. Клюев, Л. Л. Теория электрической связи / Л. Л. Клюев. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.

УДК 621.314.572

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С УЛУЧШЕННОЙ ФОРМОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Э. М. Виноградов, С. Н. Кухаренко, О. С. Смыковский

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

В системах нетрадиционного питания и на подвижном составе применяют преобразователи постоянного напряжения в переменное напряжение промышленной частоты. Типовая мощность преобразователей находится в пределах 3–10 кВт. Силовая часть таких преобразователей построена по мостовой схеме, приведенной на рис. 1. Ключи К1–К4 формируют огибающую выходного напряжения посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

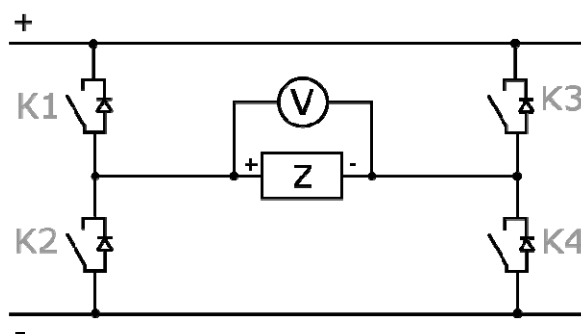


Рис. 1. Схема мостового преобразователя напряжения

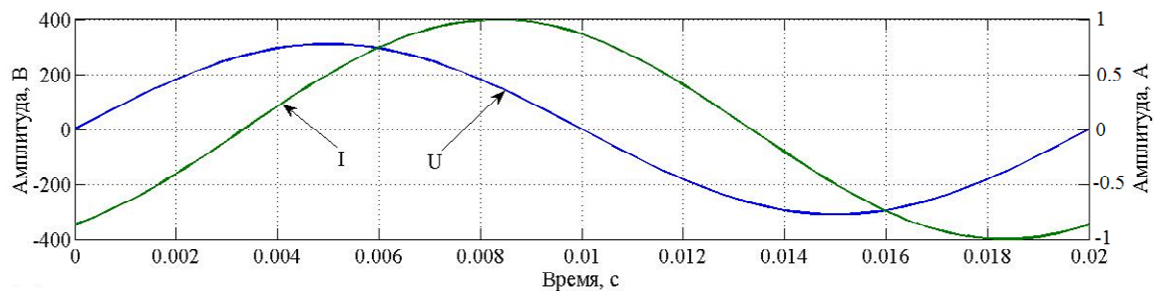
Преобразователи, работающие по известным методам модуляции [1], искажают форму напряжения на нагрузке. Эти искажения снижают коэффициент полезного действия применяемой нагрузки. В данной работе исследуются причины искажений

выходного напряжения в автономном однофазном преобразователе, работающем с различными типами нагрузок.

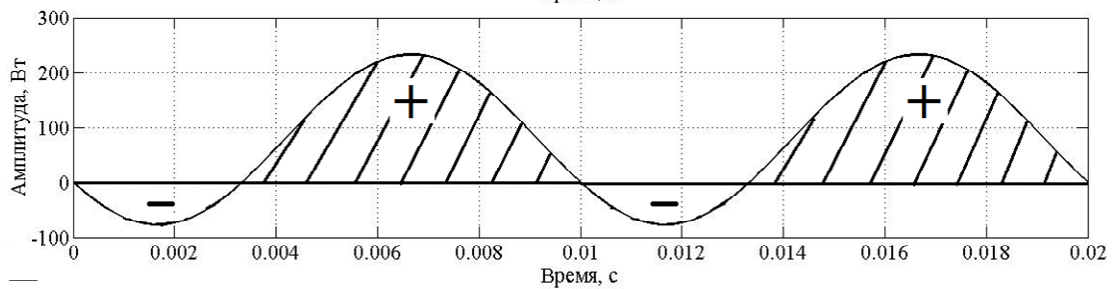
Принцип работы данного преобразователя следующий: во время генерации положительного полупериода сигнала открывается ключ К1, а на ключ К4 подается ШИМ-модулированный сигнал желаемой амплитуды. При отрицательном полупериоде роль ключа К1 выполняет ключ К3, а ШИМ-сигнал подается на ключ К2.

На рис. 2, а приведены графики напряжения и тока в нагрузке с разностью фаз 60 градусов. График мощности, соответствующий этой нагрузке, представлен на рис. 2, б. Он показывает направление мощности в цепи инвертор–нагрузка. Знаком «+» обозначена мощность, направленная от преобразователя к нагрузке, знаком «-» мощность от нагрузки к преобразователю.

При работе преобразователя с реактивной нагрузкой в интервалы времени, соответствующие отрицательной мощности, происходит искажение формы напряжения на нагрузке. Это происходит потому, что запасенная в магнитном или электрическом поле энергия препятствует изменению формы напряжения, что подтверждается осциллограммами, приведенными на рис. 3. Здесь ΔU – разность между требуемым синусоидальным напряжением $U_{\text{треб}}$ и реальным напряжением на нагрузке $U_{\text{нагр}}$.



а)



б)

Рис. 2. Графики: а – напряжения и тока в нагрузке; б – мощности

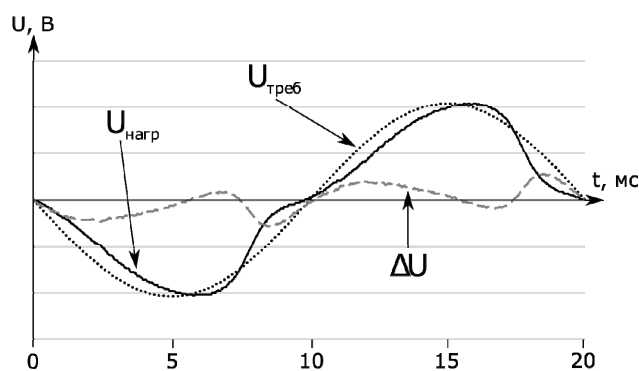


Рис. 3. Искажение формы напряжения при реактивной нагрузке

В момент, когда разница между напряжениями отрицательна, нагрузка работает как генератор, отдавая запасенную в реактивных элементах энергию. Чтобы форма напряжения на нагрузке соответствовала требуемому гармоническому закону, необходимо возвращать эту энергию в звено постоянного тока (рекуперировать). Для режима рекуперации необходимо реализовать систему управления, которая изменяет структуру и алгоритм работы ключей, позволяющую обмениваться реактивной энергией со звеном постоянного тока.

Литература

1. Моин, В. С. Стабилизированные транзисторные преобразователи / В. С. Моин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 376 с.

УДК 656.052.14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ, ГИРОСКОПОВ И БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВЫХ ОПЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Е. А. Ильющич

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

Оптимальный выбор акселерометра и гироскопа обычно выливается в сложную математическую задачу. Необходимо определить тип измеряемого параметра. При измерении вибраций измеряются вибрационные характеристики объекта. При измерении перемещения определяется скорость и смещение объекта, находящегося в движении. Иногда возникает необходимость оперативной оценки погрешности применения акселерометра или гироскопа, основываясь только на их технической документации. Делать выбор необходимого датчика иногда приходится, не имея под рукой экспериментального стенда, поэтому тяжело предугадать истинное поведение структурированной модели. Методы оценки погрешностей, вносимых акселерометром и гироскопом, могут быть очень полезны в инженерном проектировании [1]–[3].

Цель работы – оценка возможности позиционирования, используя инерциальные системы навигации, расчет погрешностей определения скорости и пройденного пути.

Вклад погрешности акселерометра и гироскопа

	Погрешность	Погрешность линейной скорости, м/с	Погрешность координаты, м
акселерометр	Систематическая составляющая Δn_{xg}^{sys} , м/с ²	$\Delta V_{xg}^{sys} = \Delta n_{xg} \Delta T$	$\Delta X_{xg}^{sys} = \frac{\Delta n_{xg} \Delta T^2}{2}$
	Мультипликативная погрешность σ_{acc} %	$\Delta V_{xg} = \sigma_{acc} n_{xg} \Delta T$	$\Delta X_{xg} = \frac{\sigma_{acc} n_{xg} \Delta T^2}{2}$
	Влияние шума VRW м/с ² /√Гц	$\sigma_{\Delta V} = VRW \sqrt{\Delta T}$	$\sigma_{\Delta X} = VRW \frac{\Delta T^{3/2}}{\sqrt{6}}$
гироскоп	Систематическая составляющая Δn_{xg}^{sys} , м/с ²	$\Delta V_{xg} = g \Delta \omega \Delta T^2$	$\Delta X_{xg} = \frac{g \Delta \omega \Delta T^3}{2}$
	Мультипликативная погрешность σ_{acc} %	$\Delta V_{xg} = g \frac{\sigma_{gyro}}{100} \Delta \omega \frac{\pi}{180} \Delta T^2$	$\Delta X_{xg} = \frac{g \frac{\sigma_{gyro}}{100} \Delta \omega \frac{\pi}{180} \Delta T^3}{2}$
	Влияние шума ARW , м/с ² /√Гц	$\sigma_{V_{xg}} = ARW \frac{g}{\sqrt{3}} \Delta T^{3/2}$	$\sigma_{X_{zg}} = ARW \frac{g}{\sqrt{5}} \Delta T^{5/2}$

Для анализа возможности использования базовых станций сотовых операторов для определения примерных координат нахождения были взяты трассы Гомель–Жлобин и Гомель–Светлогорск.

Как можно видеть (рис. 1), доступность сети мобильной связи на обоих участках дорог различная. На трассе Гомель–Жлобин не должно возникнуть проблем с определением приблизительной координаты. На трассе Гомель–Светлогорск, теоретически, из-за плохого уровня сигнала погрешность определения координаты будет хуже, чем на трассе Гомель–Жлобин.



Рис. 1. Доступность сети мобильной связи

На рис. 2 приведены экспериментальные попытки определить собственную координату, используя вышки сотовых операторов. Символом «звезда» обозначены координаты вышек, маркером обозначена высчитанная координата. Погрешность измерения не превысила 200 м, однако за пределами города такая погрешность будет значительно больше из-за меньшего количества вышек и большой удаленности. Определение координат с использованием вышек сотовых операторов планируется использовать в случае, когда другие системы (GPS/ГЛОНАСС, инерциальная система) не могут быть задействованы в силу технических, климатических и географических условий.

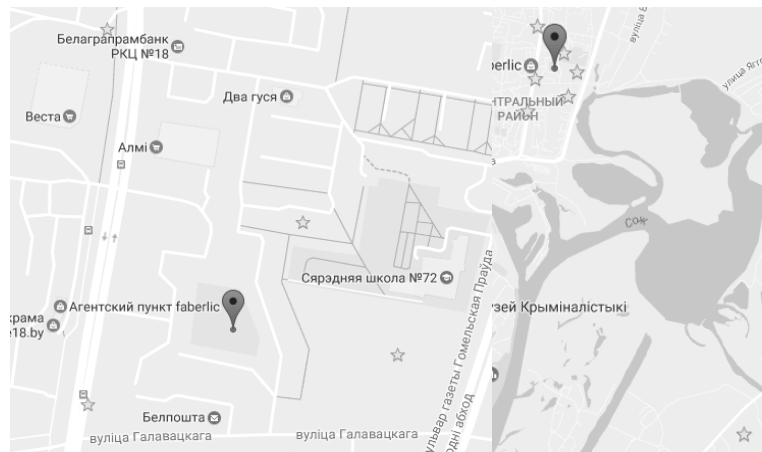


Рис. 2. Доступность сети мобильной связи

На рис. 3 приведены экспериментальные данные определения скорости и расстояния с помощью акселерометра и гироскопа. Вырезаны участки, на которых скорость фактическая и экспериментальная были равны нулю. Фактическая погрешность измерения расстояния не превысила 45 м.

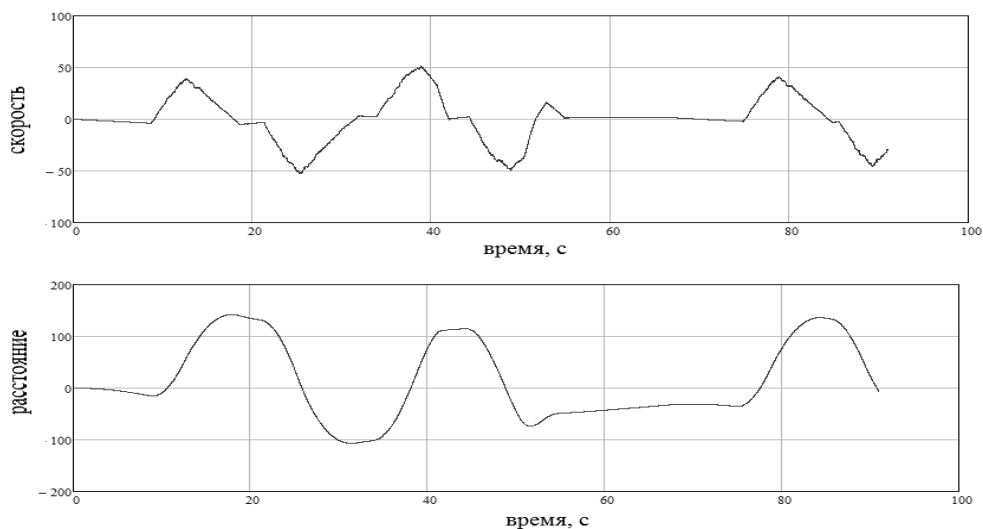


Рис. 3. Определение скорости и расстояния с использованием акселерометра и гироскопа

В результате оценки погрешностей измерения с использованием акселерометров, гироскопов и базовых станций сотовых операторов можно сделать вывод: использование акселерометров с гироскопами для определения координат дает меньшую погрешность, чем определение координат с использованием вышек сотовых операторов в коротком интервале времени (порядка нескольких минут, в зависимости от погрешностей используемых датчиков). Когда накопленная погрешность акселерометров и гироскопов выйдет за допустимые границы, можно использовать вышки сотовых операторов, что в результате уменьшит погрешность измерения координат объекта.

Л и т е р а т у р а

1. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPSNAVSTAR и ГЛОНАСС / В. С. Яценков. – М. : Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Р. В. Бакитько [и др.]. – М. : Радиотехника, 2010.
3. Карасев, В. В. Современные спутниковые радионавигационные системы : учеб.-метод. пособие / В. В. Карасев. – Владивосток : ДГТРУ, 2016.

УДК 621.314

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

В. С. Максимович

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

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 уровнями 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, как результат, 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).

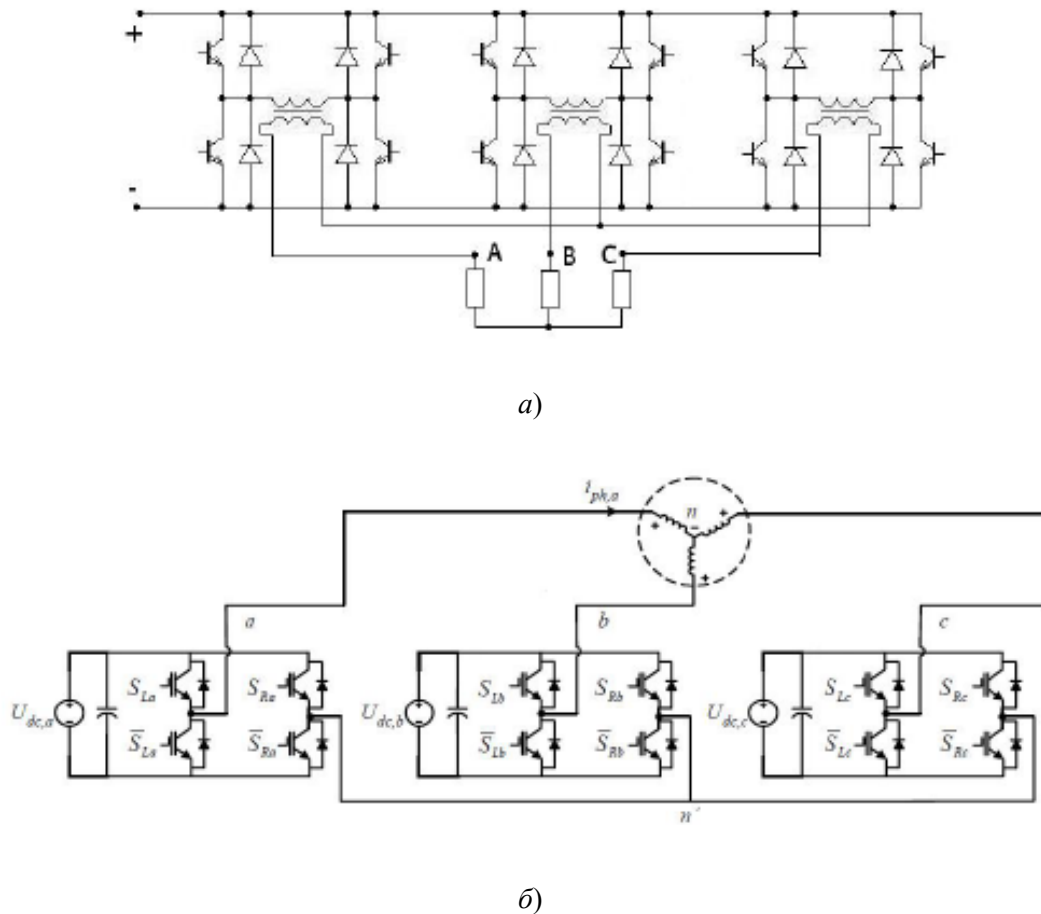


Рис. 1. Трехфазный инвертор на базе трех однофазных мостовых схем:

а – с трансформаторной развязкой выхода;

б – с непосредственным подключением нагрузки

Трехфазные инверторы на базе однофазных мостовых схем можно назвать одно-ступенчатыми с ШИМ, так как их выходное напряжение в каждой полуволне имеет только одну ненулевую ступень напряжения E , как и модуль базового вектора напряжения.

Также рассматриваются схемы обычного и трехуровневого трехфазного мостового инвертора.

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.

Л и т е р а т у р а

1. Тараканов, М. А. Многоуровневые и каскадные инверторы / М. А. Тараканов, П. Т. Корчагин // Вестн. аграр. науки. – 2013.
2. Филатов, В. В. Двух и трехуровневые инверторы на IGBT-модулях / В. В. Филатов // Силовая электроника. – 2012. – С. 38–41.
3. Донской, Н. В. Многоуровневые инверторы для электропривода и электроэнергетики / Н. В. Донской, А. Г. Иванов, В. А. Матисон // Силовая электроника. – 2012.

СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПОТРЕБЛЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНАХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Н. А. Мазаев, О. Г. Широков

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

В современном мире электричество является самым удобным и наиболее универсальным видом энергии. Оно используется везде – начиная от обычного быта и заканчивая крупным промышленным производством. Невозможно даже представить жизнь без электричества, ведь даже кратковременное его отсутствие вызывает массу неудобств.

По причине глобального развития и использования электричества появились определенные нормированные требования к его качеству. Ведь любой обычный товар можно посмотреть, оценить его качество и цену, выбрать производителя и т. д., и в отношении электрической энергии должно быть аналогично. Постановлением Совета Министров от 17 октября 2011 г. № 1394 приняты Правила электроснабжения, в которых электрическая энергия была определена как товар, были упорядочены отношения между энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии. Кроме того, Правила электроснабжения присвоили электрической энергии статус товара соответствующего качества, которое определяется показателями качества электроэнергии (ПКЭ), отражающими соответствие ее параметров требованиям, установленным действующими ТНПА. С 1 января 2012 г. в Республике Беларусь начали действовать новые «Правила электроснабжения», которые должны защитить права потребителя электроэнергии в случае получения им некачественной электроэнергии со стороны энергоснабжающей компании.

На данный момент не существует способа для определения объема переданной некачественной энергии, а ведь для определения размера скидок и надбавок к тарифу на электроэнергию (ЭЭ) необходимо определять количество электроэнергии, потребленной в различных диапазонах значений показателей ее качества. Для этого необходимо иметь счетчики, фиксирующие ее потребление в различных диапазонах значений показателей качества электроэнергии (ПКЭ). При отсутствии таких счетчиков электроэнергии можно использовать приближенные методы измерения.

Была разработана информационная система, которая позволяет повысить оперативность выполнения расчетов, снизить трудоемкость обработки информации, повысить контроль за качеством электроэнергии, а также обеспечивает возможность быстрого поиска и обработки необходимой технической информации.

На рис. 1 представлен интерфейс программы.

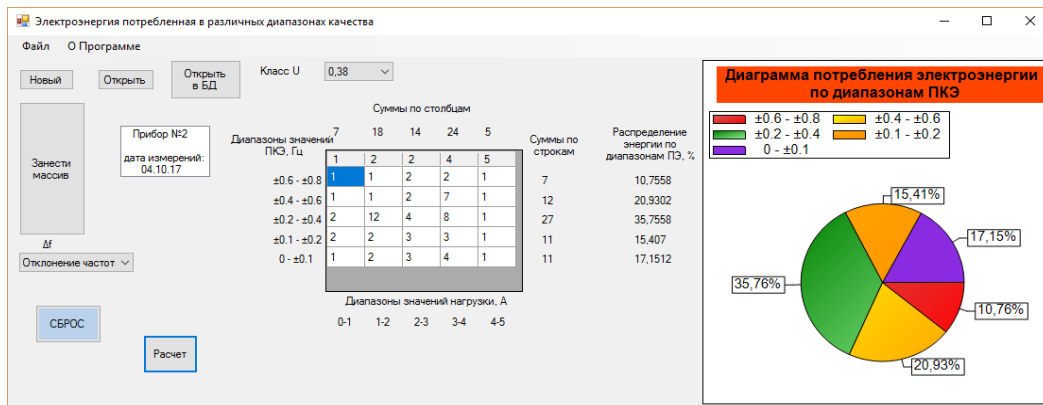


Рис. 1. Интерфейс разработанной информационной системы

Интерфейс программы был разработан с учетом максимального удобства и минимальных требований к навыкам «оператора», который будет вносить данные измерений, необходимых для расчета.

Информационная система имеет следующий алгоритм, представленный на рис. 2.

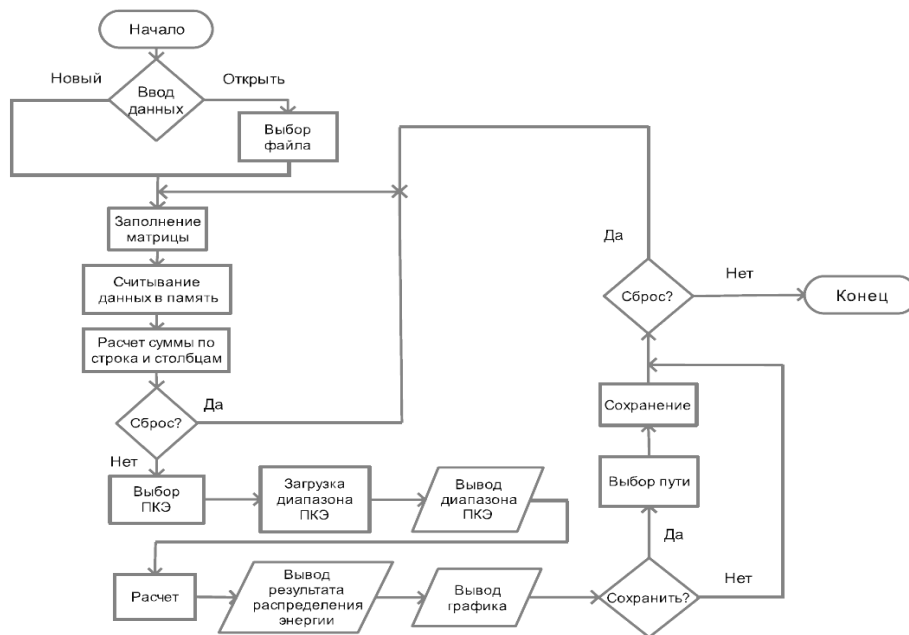


Рис. 2. Алгоритм работы информационной системы

Используя данный метод, можно рассчитать количество некачественной энергии по всем ПКЭ, допустимые значения которых устанавливаются в договоре в виде одного значения.

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 (КЭ) будет возрастать. Ключевыми моментами в вопросах КЭ являются законодательная база (построение отношений между энер-

госнабжающей организацией и потребителем) и наличие инженерных возможностей для выявления и устранения недопустимых отклонений ПКЭ.

Примененный в данной программе 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.

Разработанная информационная система позволяет рассчитывать количество потребленной некачественной электроэнергии в различных диапазонах параметров качества. Так как приборы счетчики можно устанавливать в любых предприятиях и организациях, то и данная программа может быть использована повсеместно.

Литература

1. Постановление Совета Министров от 17.10.2011 г. № 1394.
2. Правила электроснабжения Республики Беларусь.
3. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1985.

УДК 539

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДОЛОМИТА В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

С. В. Василевич, М. В. Малько, А. Н. Асадчий, Д. В. Дегтерев

*Государственное научное учреждение «Институт энергетики
НАН Беларуси», г. Минск*

Пиролиз и газификация биомассы представляют новые и многообещающие технологии эффективного использования биомассы. Согласно данным [1], пиролиз ежегодно прирастающей биомассы позволил бы полностью покрыть потребность в моторном топливе всех существующих на планете двигателей внутреннего сгорания.

Однако существует несколько причин, обусловивших отставание в разработке промышленных установок термохимической конверсии биомассы. В случае процесса газификации основной проблемой такого отставания является проблема образования смолы, в качестве которой рассматривается смесь органических веществ [2].

Применение катализаторов позволяет осуществлять разложение смолы при температурах около 700–800 °С, т. е. не требует дополнительного подогрева продуктов газификации биомассы. Таким образом, каталитическое разложение смолы имеет явное преимущество по сравнению с термическим [3].

В качестве перспективных катализаторов разложения смолы специалисты разных стран мира рассматривают природные доломиты, что обусловлено доступностью, дешевизной и высокой каталитической активностью этого минерала. Однако катализаторы на основе природных доломитов имеют существенный недостаток. Он обусловлен пониженными механическими свойствами, что приводит к сильной эрозии и снижению каталитической активности.

Преодоление отмеченных недостатков катализаторов, эффективных в процессах разложения смолы, является основным направлением в разработке эффективного и экономически оправданного способа очистки газовой смеси, образующейся в процессе термохимической конверсии биомассы.

В Институте энергетики была изучена возможность устранения таких известных недостатков природных доломитов, как низкая прочность и высокая истираемость после отжига. С целью выяснения путей преодоления этих недостатков были изготовлены и исследованы различные образцы катализаторов на основе доломита, магнезита с различными добавками в виде природной глины, извести, композитного материала $\text{Na}_2\text{K}_2(\text{SiO}_2)_n$, угля и др. При этом ставилась задача сохранить каталитические свойства материала на уровне природного доломита. Кроме того, были изготовлены образцы композитного материала на основе доломита с применением цемента в качестве связующего. Содержание цемента составляло 10; 20; 30 и 50 %. Образцы сначала выдерживались 24 ч при температуре 25 °С, после чего отжигались при температуре 800 °С. Однако после отжига образцы теряли свои механические свойства и практически полностью разрушались.

Исследования проводились на экспериментальной установке по пиролизу биомассы. Общий вид установки представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки по пиролизу биомассы

Основной частью экспериментальной установки является узел конверсии, в состав которого входят: реактор, представляющий собой цилиндр с находящейся внутри решеткой; наружный цилиндр; топка – источник энергии для обеспечения теплового режима установки; соединительные патрубки; теплоизоляция.

К верхней части реактора крепится узел катализа, представляющий собой емкость, разделенную на две половины. Каждая половина сообщается с реактором, однако может быть изолирована с помощью задвижек. Внутри узла катализа расположены решетки, а также к нему крепится система подачи сырья. В верхней части узла катализа находятся крышки, к которым крепятся нагреватели. Контроль температур можно проводить с помощью термопар, размещаемых в реакторе и узле катализа.

Перед проведением эксперимента установка (зона пиролиза) выводилась на тепловой режим, при котором температура в зоне пиролиза составила 600 °С. Далее с помощью шнекового питателя подавали древесину (опилки) в зону пиролиза, где происходило их термохимическое разложение в отсутствие кислорода.

Полученные газообразные продукты поступали в зону катализа, в которой с помощью нихромовых нагревателей поддерживалась постоянная температура (600–800 °С).

В качестве сырья использовались древесные опилки размером фракции 1–5 мм. Влажность – 11,6 %. Зольность – 0,12 %.

Во время пиролиза опилок (при температуре 600 °С) газообразные продукты, включая и сложные углеводороды, проходя зону катализа, поступали в систему конденсации, где смолы конденсировались. После этого определялась масса полученных смол и вычислялось отношение массы смолы к массе исходной древесины. По количеству сконденсированных смол оценивалась каталитическая активность материала.

В результате выполненных исследований было установлено, что каталитической активностью по отношению к процессу разложения тяжелых углеводородов (пиролизная смола), образующихся в процессе термохимической конверсии биомассы, обладают природный доломит Беларуси, природный магнезит и композит на основе природного доломита и соединения $\text{Na}_2\text{K}_2(\text{SiO}_2)_n$.

При этом было определено, что прочность такого композита в отношении истираемости оказывается приблизительно на 2 порядка выше, нежели прочность природного доломита. Аналогичным образом композиты на основе природного доломита оказываются намного более прочными по сравнению с прочностью чистых образцов доломита. Пределы прочности их на сжатие примерно на порядок превышают предел прочности чистого доломита.

Литература

1. Bridgwater, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass / A. V. Bridgwater // Chem. eng. J. – 2003. – Vol. 91. – P. 87–102.
2. Milne, T. A. Biomass Gasifier «Tars»: Their Nature, Formation and Conversion / T. A. Milne, N. Abatzoglou, R. J. Evans // NREL Technical Report (NREL/TP-570-25357). – 1998 – Nov.
3. Sutton, D. / D. Sutton, B. Kelleher, J. R. H. Ross // Fuel Processing Technology. – 2001. – Vol. 73, 3. – P. 155–173.
4. Study of the catalytic activity of natural minerals and composites based on them in process of pyrolytic tar decomposition / S. V. Vasilevich [et all] // 15th international conference of young scientists on energy issues, Lithuania, Launas, May 23–25 2018 / Lithuanian energy institute. – Launas, 2018. – P. 15–22.

УДК 621

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ПУТЕМ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ БИОМАССЫ

С. В. Василевич, М. В. Малько, А. Н. Асадчий, Д. В. Дегтерев

*Государственное научное учреждение «Институт энергетики
НАН Беларуси», г. Минск*

Известно, что в состав углеводородов, получаемых путем термохимической конверсии древесной биомассы, входят десятки компонентов, многие из которых до сих пор не идентифицированы. Сложность определения состава углеводородов также связана с тем, что он сильно зависит от многих факторов, что определяет повышенный интерес к данному вопросу ученых во многих странах мира.

Известно, что к основным направлениям применения бионефти можно отнести следующие: альтернативное топливо; связующее для композитных материалов (добавка в дорожные вяжущие до 20 %, улучшение адгезии вяжущих, стабилизация свойств битума, укрепление грунтов); сырье для производства технического углерода; сырье для дорожного строительства; сырье для химической промышленности.

В связи с этим возникла необходимость разработки и изготовления оборудования (экспериментального стенда) по получению жидких продуктов пиролиза (сложных углеводородов).

В качестве исходного сырья для пиролиза могут выступать биомасса, твердые горючие ископаемые, промышленные и бытовые отходы. В результате пиролиза образуется горючий газ, высокоэнергетические жидкие продукты и кокс. Выход того или иного продукта, а также их энергетические и химические свойства зависят как от температуры процесса, так и скорости нагрева вещества и свойств среды, в которой процесс протекает. Несмотря на свои преимущества перед технологиями прямого сжигания и газификации, процесс пиролиза на данный момент является менее изученным.

Ранее сотрудниками Института энергетики проводились научно-исследовательские работы, связанные с получением жидких продуктов путем термохимической конверсии древесины.

Данные, полученные в ходе проводимых работ, использовались при разработке экспериментального стенда для получения жидких продуктов пиролиза.

За основу при разработке стенда принята принципиальная схема, представленная на рис. 1, а.

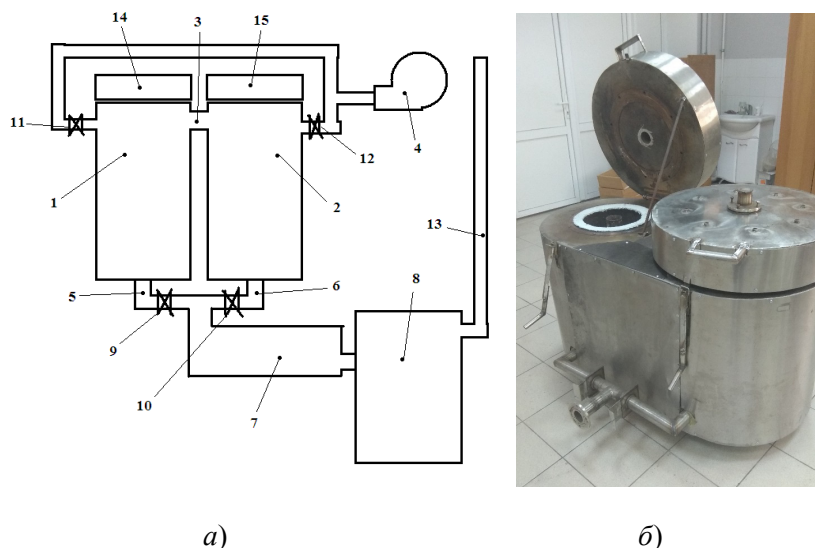


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) экспериментального стенда для получения жидких продуктов пиролиза древесной биомассы

Основными элементами стенда являются два теплоизолированных реактора 1, 2, соединенных между собой каналом 3. К каждому из реакторов имеется подвод воздуха, нагнетаемого воздуходувкой 4. Также реакторы имеют выходы 5, 6 к теплообменнику 7 и баку-накопителю 8.

Для вывода стенда на тепловой режим реактор 1 оснащен электрическим нагревателем. Также в состав стенда входят вентили 9–12, дымовая труба 13, крышки 14, 15 и измерительные приборы для контроля температур внутри реакторов, теплообменника и бака-накопителя.

Принцип работы стенда следующий. Начало работы: реакторы 1 и 2 загружаются сырьем. В качестве сырья планируется использовать сосновую щепу размером фракций 35–55 мм (средняя – 45 мм). После загрузки реакторы герметично закрываются крышками 14 и 15. С помощью электрического нагревателя реактор 1 выводится на необходимый тепловой режим. После прогрева открывается вентиль 11 и в реактор 1 подается воздух через воздуходувку 4, что приведет к возгоранию

находящегося в реакторе сырья. Меняя расход подаваемого воздуха, можно регулировать интенсивность горения сырья в реакторе 1.

Газы, получаемые при горении сырья в реакторе 1, через канал 3 поступают в реактор 2, где они прогревают находящееся там сырье, поддерживая тепловой режим пиролиза. Далее продукты пиролиза (газы и смолы в газообразном состоянии) вместе с газами, поступающими в реактор 2, проходят через конденсатор 7, где смолы конденсируются и стекают в бак-накопитель. Газы выходят через трубу 13.

Расход воздуха, подаваемого в реактор 1, а также размер и влажность сырья подбираются таким образом, чтоб к моменту полного выгорания сырья в реакторе 1 процесс пиролиза в реакторе 2 окончился.

Работа стенда: после того, как в реакторе 1 сырье полностью выгорит, в реакторе 2 уже находится древесный уголь, полученный в результате пиролиза находившегося там сырья. При этом вентиль 11 перекрывается, крышку 14 открываем и в реактор 1 загружаем сырье. Закрываем крышку 14 и подаем воздух в реактор 2. Теперь пиролиз происходит в реакторе 1, а газы, поддерживающие тепловой режим пиролиза, получаются в результате горения угля в реакторе 2. Далее реакторы работают попеременно (пиролиз/горение).

Жидкие продукты, получаемые путем пиролиза, собираются в баке-накопителе.

Общий вид жидких продуктов пиролиза представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид жидких продуктов пиролиза

Были выполнены измерения плотности смолы. Она составила $0,9 \text{ г/см}^3$.

Вязкость определяли на ротационном вискозиметре Brookfield DV2T при температуре $17,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Измеренное значение составило $395 \pm 4 \text{ сП}$.

Температура вспышки определялась с помощью автоматического аппарата ТВЗ-ЛАБ-11. Она равна $190 \text{ }^\circ\text{C}$.

Теплотворная способность смолы – $28766,78 \text{ кДж/кг}$ ($6870,83 \text{ кКал/кг}$). Теплотворная способность определялась на калориметре В-08МА«К».

УДК 621

ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ И НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

А. Я. Джумаев, М. А. Джумаева

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Нарастивая экспорт своих энергоносителей на мировые рынки, Туркменистан вместе с тем взял курс на широкое внедрение инновационных, ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий, определив в качестве одного из приоритетных направлений развития национального топливно-энергетического комплекса (ТЭК) альтернативную энергетику. В 2018 г. Президент Туркменистана одобрил Государственную программу по энергосбережению на 2018–2024 гг., которая призвана способствовать повышению эффективности и конкурентоспособности национальной экономики, бережному и рациональному использованию природных ресурсов страны, охране окружающей среды, обеспечению благоприятных условий жизни населения и энергетической независимости за счет повышения энергоэффективности и увеличения использования собственных топливно-энергетических ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии.

Основные условия развития солнечной энергетики. Одним из главных условий, обуславливающих необходимость развития солнечной энергетики в Туркменистане, является сравнительно большой годовой приход солнечной суммарной радиации на деятельную поверхность. Ежегодный валовый энергетический потенциал солнечной энергии оценивается на уровне 110 млрд. т условного топлива. Распределение энергетического потенциала солнечной энергии по территории Туркменистана можно считать равномерным виду его широтного расположения. Наиболее перспективными возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) являются солнце и ветер [1].

Вторым основным условием является нормативно-правовая база солнечной энергетики в Туркменистане. В республике специальная нормативно-правовая база в сфере энергосбережения и поддержки ВИЭ находится в начальной стадии. В рамках реализации Государственной программы повышения эффективности научных исследований и инновационных технологий на 2017–2021 гг., утвержденной Постановлением Президента Туркменистана от 15 июля 2016 г., была подготовлена Государственная программа по энергосбережению на 2018–2024 гг.

В плане мероприятий (дорожная карта) по реализации Государственной программы по энергосбережению на 2018–2024 гг. можно перечислить следующие пункты, которые очень важны для развития солнечной энергетики Туркменистана. Например, п. 1 «Подготовить проект Закона Туркменистана о возобновляемых источниках энергии и представить на рассмотрение в Меджлис Туркменистана. Срок выполнения – 2018–2020 гг.»; п. 4 – «Подготовить предложения по выбору места расположения солнечных и ветровых станций на территории Туркменистана, разработать кадастр солнечной и ветровой энергии и оценку ресурсов солнечной и ветровой энергии. Срок выполнения – 2018–2021 гг.»; п. 28 – «Подготовить предложения по использованию экспериментальных солнечных станций в веляях Туркменистана. Срок выполнения – 2024 г.» [1].

Проект дорожной карты развития солнечной энергетики в Туркменистане. Предлагаемый нами проект развития солнечной энергетики Туркменистана содержит следующие разделы: 1. Анализ текущего состояния электроэнергетической отрасли Туркменистана. 2. Альтернативы традиционным источникам энергии. 3. Ме-

роприятия по повышению энергоэффективности и их практическая реализация. 4. Оценка существующей нормативно-правовой базы альтернативной энергетики в Туркменистане. 5. Научно-техническое обеспечение развития альтернативной энергетики. 6. Экологические и социальные аспекты освоения альтернативной энергетики. 7. Использование передового международного опыта.

Нами выбранный сценарий развития солнечной энергетики в Туркменистана охватывает период с 2018 по 2024 г., что соответствует Программе Президента Туркменистана по социально-экономическому развитию страны на 2018–2024 гг.», в рамках которой будет проводиться активная инвестиционная политика. Согласно этой программе, общий объем производимой в стране электроэнергии к 2024 г. будет доведен до 33 млрд квт · ч, что по сравнению с 2018 г. больше на 27,2 %, в несколько раз возрастут объемы ее поставок за рубеж. Анализ текущего состояния электроэнергетической отрасли Туркменистана показал, что развитие этой отрасли проводится согласно Концепции развития электроэнергетической отрасли Туркменистана на 2013–2020 гг., утвержденной Постановлением Президента Туркменистана от 12 апреля 2013 г.

Согласно сценарию ввода в эксплуатацию фотоэлектрических солнечных станций, предполагается ввод в строй следующих фотоэлектрических солнечных станций с соответствующими установленными мощностями: 2020 г. – 1 МВт; 2021 г. – 10 МВт; 2022 г. – 25 МВт; 2023 г. – 50 МВт и 2024 г. – 100 МВт установленной мощности. Выполняемые проекты в основном ориентированы на перспективу. Естественно, для каждого небольшого хозяйства в отдаленных районах Туркменистана проводить отдельные газопроводы или линии электропередачи нецелесообразно с экономических, экологических и инвестиционных позиций. В этих районах страны разумно использовать не привозное топливо, а ВИЭ.

Результаты научно-исследовательских работ [2] позволяют оценить предполагаемые выработки электрической энергии фотоэлектрическими солнечными станциями. Выработка электрической энергии фотоэлектрическими солнечными станциями за период 2018–2024 гг. показана на рис. 2. Выработка электрической энергии в течение года фотоэлектрическими солнечными станциями к 2024 г. будет в пределах $338,199 \cdot 10^6$ квт · ч, что составляет 1 % от общей выработки электрической энергии за год в Туркменистане.

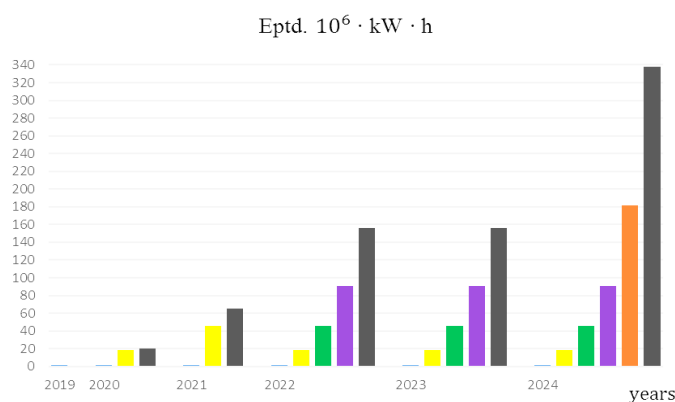


Рис. 1. Выработка электрической энергии фотоэлектрическими солнечными станциями

Литература

1. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan «Energiýany tygşytlamagyň 2018–2024-nji ýyllar üçin Döwlet maksatnamasy». – Aşgabat, 2018 ý.
2. Kharchenko, V. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development / V. Kharchenko, P. Vasant // IGI Global book series. – 2018. – Chapter 3. – P. 61–86.

УДК 621

**ЕНЕРГООЩАДНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМ ОБЛАДНАННЯМ БІОГАЗОВИХ
УСТАНОВОК**

М. В. Потапенко, В. Ю. Рамш, В. Л. Шаршонь

*Відокремлений підрозділ Національного університету
біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»*

В сучасних біогазових установках для підтримання температурного режиму в допустимих межах у зимовий період затрачається майже 70 % виробленого біогазу. У системі постачання теплової енергії для біогазової установки джерело первинної енергії – біогаз доцільно замінити електричною енергією з підсистемою теплоакмулюючих установок.

Розрахунки показують, що застосування теплоакмулюючих установок дозволить на 20–25 % зменшити вартість енергії, яка витрачається на власні потреби біогазової установки.

Щоб підвищити ефективність установок необхідно регулювати кількість накопиченої теплоти в залежності від температури зовнішнього повітря, що дозволить зменшити коефіцієнт одночасності зарядки нагрівачів та знизити середню температуру блоків, а також змінювати тепловий потік електричними тепловими акумулюючими нагрівачами у залежності від температури продуктів зброджування метантенка.

Залежність необхідного теплового потоку для метантенка від температури зовнішнього повітря є прямолінійною:

$$P = P_p - r(\theta_1 - \theta_{1p}), \quad (1)$$

де P – тепловий потік, який необхідний для створення потрібної температури, Вт; P_p – розрахунковий тепловий потік, Вт; r – коефіцієнт, який залежить від теплофізичних характеристик метантенка, Вт/°С; θ_1 – температура зовнішнього повітря, °С; θ_{1p} – розрахункова температура зовнішнього повітря в найхолодніший період, °С.

В свою чергу, залежність температури електричними тепловими акумулюючими нагрівачами, яка встановлюється до кінця періоду зарядки, від температури зовнішнього повітря має вид

$$\theta = \frac{\theta_{1p} [P_p - r(\theta_1 - \theta_{1p})] + \theta_1}{V \cdot c \cdot \rho (1 - f) \eta}, \quad (2)$$

де f – постійна величин; $f = (\theta_{0p} - \theta_{1p})(\theta_p - \theta_{1p})$; η – ККД нагрівачів.

Залежність (2) має лінійний характер, що вказує на інерційний об'єкт автоматичного регулювання із запізненням.

Для аналізу і синтезу системи автоматичного регулювання тепловіддачі доцільно використовувати перехідну характеристику, отриману при класичному методі розв'язання диференційного рівняння теплопровідності, а також застосовувати метод суперпозиції. Прийнято, що при зарядці по всьому об'єму теплового акумулюючого моноліту діє рівномірно розміщене джерело тепла, а температура в поперечному перерізі розподіляється за параболічним законом. Тоді рівняння для розрахунку створюваного електричними тепловими акумулюючими нагрівачами нестационарного теплового потоку можна записати:

$$P(\theta) = (F \cdot B_i \cdot \lambda / \delta \sum_{n=1}^{\infty} [(2 / \mu_n^2 - 2 / B_i)(\theta_{\text{ЦО}} - \theta_{\text{ПО}}) - \theta_{\text{ПО}} - t_0] A_n \cdot \cos \mu_n \times \\ \times \exp(-\mu_n^2 \cdot F_0) + F \cdot q \cdot \delta - F \cdot q \cdot \delta \cdot B_i \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2}) \cos \mu_n \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot F_0), \quad (3)$$

де F – площа теплообмінної поверхні теплового акумулюючого моноліту, м²; B_i – критерій Біо; λ – теплопровідність матеріалу, Вт/м² · °С; δ – половина ширини пластини, м; μ_n – корені характеристичного рівняння; $\theta_{\text{ЦО}}$, $\theta_{\text{ПО}}$ – початкові температури в центрі та на поверхні блоків, °С; t_0 – початкова температура води, °С; F_0 – число Фур'є; q – інтенсивність внутрішнього джерела тепла, Вт/м³;

$$A_n = \frac{2 \cdot \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n}. \quad (4)$$

Якщо із виразу (3) відняти початковий тепловий потік, то отримаємо аналітичний вираз перехідної характеристики електричними тепловими акумулюючими нагрівачами за каналом регулювання тепловіддачі.

Неодночасна комутація нагрівного пристрою позитивно впливає на режим напруги у споживачах. Для підвищення якості регулювання температурою в об'єктах зі запізненням доцільно вимикати частину секцій за допомогою терморегулятора, який реагує на зовнішню температуру. При низьких температурах він буде підтримувати частину секцій постійно увімкнутими, а при високих – вимкнутими.

Застосування в таких системах трипозиційних терморегуляторів дозволяє зменшити потужність комутації теплоакumuлюючої установки та регулювати цикли її роботи.

Література

1. Адаменко, О. І. Енергоощадне отримання біогазу / О. І. Адаменко, М. К. Лінник, І. М. Голодний // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 5. – С. 47–50.
2. Ключев, А. С. Автоматическое регулирование / А. С. Ключев. – М. : Энергия, 1973. – 392 с.
3. Ковалев, А. А. Технологические линии утилизации отходов животноводства в биогаз и удобрения / А. А. Ковалев, А. Н. Кошевикова. – М. : Агропромиздат, 1990. – 241 с.

УДК 621.311.001.57

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Д. И. Зализный

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

В последние годы в Республике Беларусь активно создаются фотоэлектрические станции, являющиеся самыми современными источниками электроэнергии. Однако один из основных недостатков таких электростанций – большое количество фотоэлектрических модулей (панелей), которые в соответствии с теорией надежности с течением времени начнут выходить из строя или резко снижать свою эффективность работы. Поэтому очевидно, что фотоэлектростанции нуждаются в периодических обследованиях с целью раннего предупреждения возможных аварий.

Для диагностики фотоэлектрических модулей (ФЭМ) используется специальное электронное оборудование. Наиболее известен комплекс приборов фирмы *HT ITALIA*, позволяющий анализировать как отдельные модули электростанции, так и ее остальные силовые элементы.

Диагностирование ФЭМ осуществляется на основе их схем замещения с последующим анализом их вольт-амперных характеристик (ВАХ). Классическая схема замещения и вольт-амперные характеристики ФЭМ показаны на рис. 1.

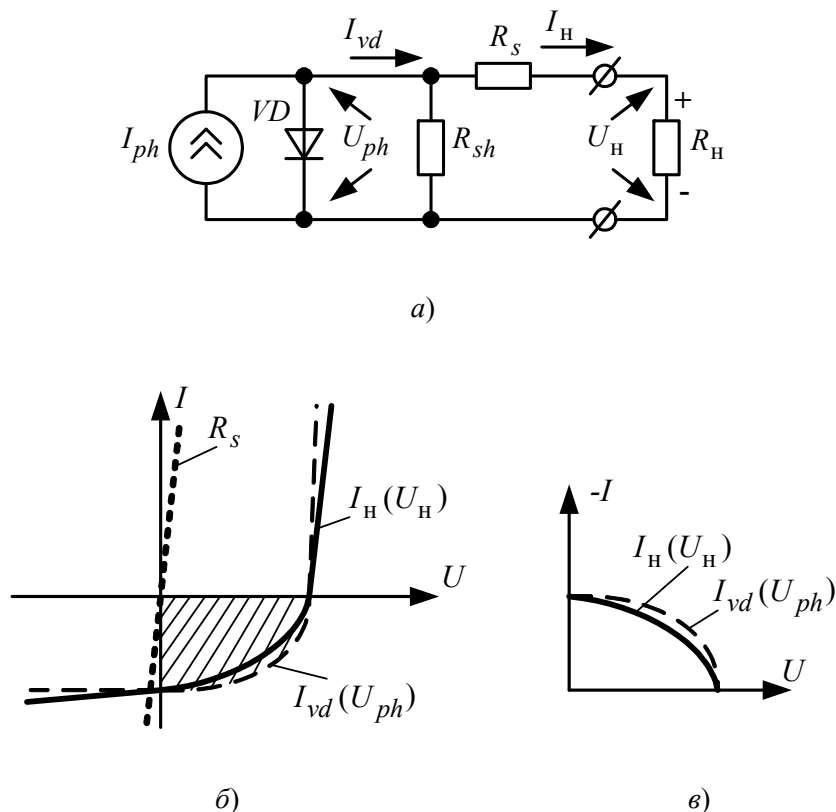


Рис. 1. Схема замещения (а) и вольт-амперные характеристики (б – исходные; в – инверсные для генераторного режима) фотоэлектрического модуля

На схеме замещения представлены следующие обозначения: VD – эквивалентный диод; R_{sh} – параллельное сопротивление; R_s – последовательное сопротивление; R_n – сопротивление нагрузки; I_{ph} – ток, генерируемый за счет солнечного излучения.

Источник тока I_{ph} и диод VD формируют исходную ВАХ ФЭМ как зависимость $I_{vd}(U_{ph})$ в соответствии с формулой

$$I_{vd} = I_0 \left(e^{\frac{q \cdot U_{ph}}{K_B \theta}} - 1 \right) - I_{ph} \approx I_0 \left(e^{\frac{q \cdot U_{ph}}{K_B \theta}} - 1 \right) - K \cdot S, \quad (1)$$

где I_{vd} – суммарный ток через $p-n$ переходы ФЭМ, А; I_0 – обратный ток $p-n$ переходов при отсутствии солнечного излучения, А; q – заряд электрона, Кл; K_B – постоянная Больцмана, Кл·В/К; U_{ph} – напряжение, генерируемое $p-n$ переходами ФЭМ, В; θ – температура $p-n$ переходов модуля, К; K – коэффициент пропорциональности; S – солнечное излучение, Вт/м².

В формуле (1) величины θ и S являются исходными данными и зависят от условий окружающей среды. Величины I_0 и K – это параметры, рассчитываемые для каждой разновидности ФЭМ. В данном исследовании предлагается методика расчета этих величин.

Предположим, что имеется экспериментальная ВАХ $I(U)$ некоторого ФЭМ, содержащего n фотоэлементов. Рассмотрим две крайние точки на этой ВАХ – одну, близкую к режиму короткого замыкания со значениями I_1 и U_1 , а другую – близкую к режиму холостого хода со значениями I_2 и U_2 . Приняв допущение, что все фотоэлементы модуля идентичны по параметрам, в соответствии с (1) получим систему уравнений:

$$\begin{cases} I_1 = I_0 \left(e^{\frac{11594,2 U_1}{\theta n}} - 1 \right) - I_{ph}; \\ I_2 = I_0 \left(e^{\frac{11594,2 U_2}{\theta n}} - 1 \right) - I_{ph}, \end{cases} \quad (2)$$

где θ – температура ФЭМ во время проведения эксперимента, К; n – количество фотоэлементов в ФЭМ.

Выразив из (2) неизвестные, с учетом (1) запишем необходимые расчетные соотношения:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_0 = \frac{I_1 - I_2}{e^{\frac{11594,2 U_1}{n}} - e^{\frac{11594,2 U_2}{n}}}; \\ I_{ph} = I_0 \left(e^{\frac{11594,2 U_1}{n}} - 1 \right) - I_1; \\ K = \frac{I_{ph}}{S}, \end{array} \right. \quad (3)$$

где S – значение солнечного излучения во время эксперимента, Вт/м².

На кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого были выполнены измерения ВАХ ФЭМ Orange Solar OSP ХТР 250. Получены результаты: $I_0 = 1,514 \cdot 10^{-8}$ А; $K = 8,222 \cdot 10^{-3}$ А · м²/Вт, которые могут быть использованы для задач диагностики ФЭМ.

УДК 621.574.3

МОДЕРНИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕДЯНОЙ ВОДЫ В ФИЛИАЛЕ ОАО «РОГАЧЕВСКИЙ МКК» ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЫРОВ В Г. БУДА-КОШЕЛЕВО

А. В. Горовой, А. О. Добродей

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

Цель исследования: модернизация холодильной системы для получения ледяной воды в филиале ОАО «Рогачевский МКК» по производству сыров в г. Буда-Кошелево.

Задачи исследования – выведение из эксплуатации действующей холодильной системы для приготовления ледяной воды и ее обратного водоснабжения, достигших морального и физического износа, с последующей заменой устаревшего оборудования на более современное; производство холода в объеме, удовлетворяющем потребность технологий по производству сыров; снижение затрат энергоресурсов на производство холода.

Актуальность исследования. При обследовании существующей системы производства холода были установлены следующие основания для проведения мероприятий модернизации:

- оборудование узла производства холода (холодильной системы для получения ледяной воды) предельно изношено;
- высокие затраты энергоресурсов на производство холода и высокие эксплуатационные затраты по поддержанию работоспособности холодоснабжения;
- ухудшение вибрационных и шумовых характеристик компрессоров вследствие износа и ухудшение условий труда работников;
- неполное соответствие оснащения машинного отделения вспомогательными помещениями для персонала, инженерных систем – требованиям норм безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок.

Для увеличения эффективности работы холодильной системы были приняты технологические решения:

- использовать в качестве хладагента аммиак;
- использовать для охлаждения ледяной воды охладитель жидкости, состоящий из отделителя жидкости и двух пластинчатых теплообменников-испарителей, – 1 технологический блок;
- применить двухконтурную схему циркуляции ледяной воды;
- использовать GEO Grasso поршневые компрессорные агрегаты серии V – 2 комплекта;
- использовать испарительный конденсатор типа VXC с фторконденсатором – 1 комплект;
- применить для ледяной и оборотной воды насосные установки, буферные баки ледяной и оборотной воды включить в технологические блоки с насосными установками;
- установить частотные преобразователи на насосные и конденсаторные установки.

Технологический процесс производства ледяной воды в холодильной установке построен по следующей схеме:

- нагреваясь в технологическом оборудовании ледяная вода направляется в теплообменники-испарители, где охлаждается хладагентом, испаряющимся по другую сторону теплообменной поверхности;
- хладагент из теплообменников-испарителей в виде парожидкостной смеси направляется в отделитель жидкости;
- парообразный хладагент из отделителя жидкости направляется в компрессоры на сжатие;
- сжатый парообразный хладагент поступает в конденсатор, где конденсируется, отдавая тепло на испарение циркулирующей по другую сторону теплообменной поверхности оборотной воде;
- жидкий хладагент после конденсатора дросселируется в поплавковом клапане и направляется в отделитель жидкости;
- жидкий хладагент из отделителя жидкости направляется в теплообменники-испарители под действием сил гравитации.

После проведенных мероприятий по модернизации системы эффективность преобразования электроэнергии при выработке холода повысилась с 2,74 до 3,98 кВт/кВт, или на 45,2 %.

Эффективность преобразования электроэнергии компрессорными агрегатами – основным холодильным оборудованием повысилась с 4,20 до 5,2 кВт/кВт, или на 23,8 %.

Производство холода организовано на оборудовании высокого уровня агрегативности, применены компактные испарители. Технологическая схема решена с совмещением функций на отделителе жидкости. Конденсатор холодильной системы вынесен на наружную площадку вблизи аммиачной компрессорной.

Отмеченные решения позволили повысить отдачу производственной площади машинного отделения почти втрое.

Применение эффективного и малоемкого по холодильному агенту оборудования привело к снижению объема аммиака, приходящегося на единицу мощности оборудования, производящего холод на 65,1 %.

На рис. 1 представлена функциональная схема системы ледяной воды.

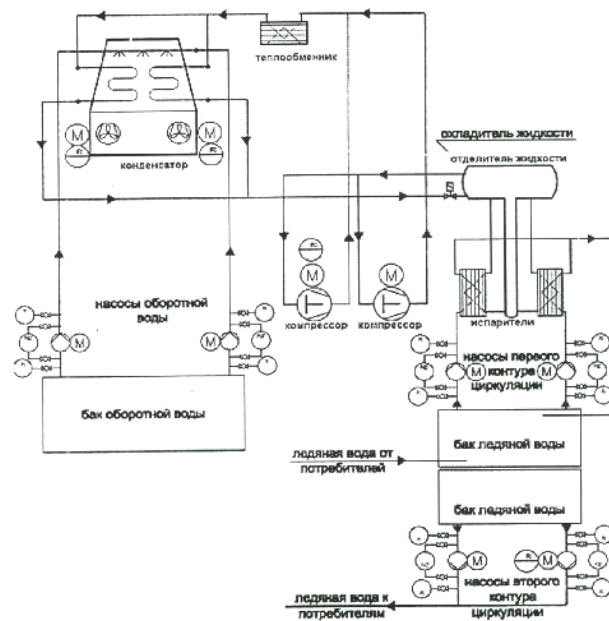


Рис. 1. Функциональная схема системы ледяной воды

Решение проекта снижает объем оборудования, обеспечивающего производство холода для системы ледяной воды, по сравнению с состоянием на начало проектирования. Так, количество компрессорных агрегатов холодильной системы для получения ледяной воды с 4 комплектов снизилось до 2, или на 50 %; количество единиц емкостного оборудования – с 3 до 1, или втрое, теплообменного оборудования – с 7 до 3, или практически вдвое. По решению проекта полностью выбывают из технологической схемы градирни. Общее количество насосов хладоносителя – ледяной воды и оборотной воды сохранилось практически на существующем уровне.

Снижение объема оборудования повышает надежность системы холодоснабжения.

Отмечается рост выработки холода на одного работника компрессорного цеха в результате реконструкции – 48,4 %.

Соответственно, снижение удельной численности персонала компрессорной, отнесенной на вырабатываемый холод, составляет 32,4 %.

Таким образом, мероприятия проекта обеспечивают эффективность модернизации холодильной системы для получения ледяной воды за счет снижения энергоёмкости производства холода.

Л и т е р а т у р а

1. Технология молока и молочных продуктов / Г. В. Твердохлеб [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 463 с.
2. Голубев, И. Ф. Теплофизические свойства аммиака / И. Ф. Голубев, В. П. Кияшова. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 264 с.
3. Тыркин, Б. А. Монтаж холодильных установок / Б. А. Тыркин. – М. : Стройиздат, 1986. – 183 с.
4. Полевой, А. А. Монтаж холодильных установок / А. А. Полевой. – СПб. : Политехника, 2005. – 259 с.
5. Поршневые компрессоры серия GEA Grasso V. – Режим доступа: <https://www.gea.com/ru/products/gea-v-series.jsp>. – Дата доступа: 20.09.2018.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СУТОЧНЫХ РЕЖИМОВ УКРУПНЕННЫХ ГРУПП БАЛАНСОВОЙ СТРУКТУРЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Н. В. Грунтович¹, Д. Р. Мороз²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгаз»,
г. Минск, Республика Беларусь

Изучение структуры и закономерностей функционирования укрупненных групп балансовой структуры и региональной системы газоснабжения (РСГС) в целом необходимо для решения ряда эксплуатационных задач, основными из которых являются: составление заявок планируемого объема поставок газа; разработка проектов развития и реконструкции систем газоснабжения и хранения газа; обоснование тарифов на газ для различных групп потребителей при учете рентабельности их производств. Описана РСГС может быть с позиций системного анализа и представлена как сложная динамическая система, состоящая из нескольких подсистем [1]. Согласно системному подходу применительно к системам энергетики, заложенному академиком Л. А. Мелентьевым, предложено условно различать три аспекта структур: производственную, балансовую и системную. Для решения указанных задач рассматривается балансовая система РСГС. Для исследуемой системы газоснабжения сформирована информационная база данных за семилетний период по суточным режимам потребления газа и температуры наружного воздуха по 32 укрупненным группам и потребителям, входящим в каждую группу. Суточная температура пересчитана в °К, что позволило уйти от отрицательных значений температур, а суточный объем потребления газа для каждой группы балансовой структуры РСГС отнормирован относительно среднегодового значения $P_{сут. ср}$, что позволяет производить сравнение видов структурных полей для однотипных групп (например, группа «Белэнерго») различных РСГС. С использованием аппарата двухфакторного кластерного анализа (суточная температура $t_{сут}$, °К – суточный объем потребления газа $P_{сут}$, о. е.) получены основные виды структурных полей суточного потребления газа от среднесуточной температуры.

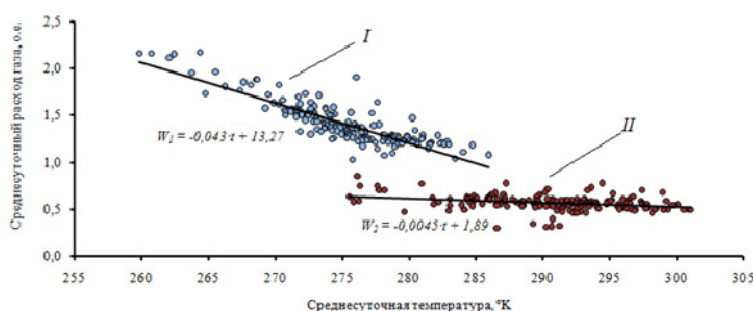


Рис. 1. Структурное поле суточного потребления газа по группе «Белэнерго» от среднесуточной температуры на годовом интервале времени: I – область работы системы отопления; II – область положительных температур (система отопления отключена)

Анализ суточных полей «газ–температура» позволил выделить две характерные области (рис. 1): I – область работы системы отопления; II – область положительных температур (система отопления отключена). Установлено, что диапазон температур от 0 °С до 10 °С соответствует переходной области, или «неопределенного состояния» группы балансовой структуры РСГС, так как в этой зоне перекрываются две области: область работы системы отопления и область работы при положительных температурах [2]. Для каждой из областей по 32 группам определены зависимости суточного расхода газа от температуры и влияние изменения температуры на изменение потребления газа. Тип структурного поля (рис. 1) является базовым и характерен для следующих групп балансовой структуры: 1) группа «Региональная система газоснабжения» с годовым объемом потребления газа – 100 %; 2) группа «Минжилкомхоз» с годовым объемом потребления газа – 7,88 %; 3) группа «Население» с годовым объемом потребления газа – 13,43 % от суммарного; 4) группа «Белэнерго» с годовым объемом потребления газа – 46,52 %; 5) группа «Прочие предприятия без ведомственного подчинения» с годовым объемом потребления газа – 1,5 %; 6) группа «Управление БелЖД» – 0,27 %.

Помимо основного типа структурного поля определены следующие типы полей:

– тип 2. Поле с четким расслоением периодов работы системы отопления (включено-отключено), перекрытием полей в переходной зоне, отсутствием потребления газа в летний период (рис. 2, а);

– тип 3. Поле суточного расхода газа без четкого выделения периодов работы системы отопления с общей тенденцией снижения расхода газа при повышении температуры (рис. 2, б);

– тип 4. Поле со ступенчатым расслоением суточного расхода газа для области работы системы отопления и одной ступенью в области положительных температур;

– тип 5. Облачное поле суточного расхода газа.

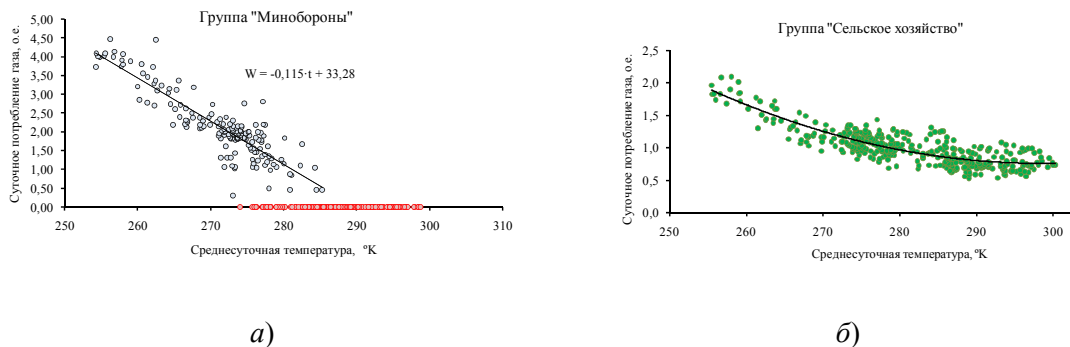


Рис. 2. Типы полей суточного расхода газа от температуры для укрупненных групп балансовой структуры РСГС: а – поле с отсутствием потребления газа в летний период; б – поле без четкого расслоения суточного расхода газа по двум основным областям

Для исследуемой РСГС структуру суточного потребления газа в регионе определяет группа «Белэнерго», а группы промышленных потребителей различных отраслей промышленности и сельского хозяйства лишь сглаживают область «неопределенного состояния» РСГС.

Л и т е р а т у р а

1. Мелентьев, Л. А. Методология системных исследований в энергетике / Л. А. Мелентьев // Избр. тр. – М. : Наука, 1995. – 289 с.

2. Региональная система газоснабжения с позиций системного анализа и закономерности ее функционирования / Д. Р. Мороз, Н. В. Грунтович // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2018. – Т. 61, № 4. – С. 359–371. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-359-371>.

УДК 621.331.5;621.311.001.57;621.311.1

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ
И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ**

А. В. Дробов, В. Н. Галушко

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет
транспорта», г. Гомель*

Надежность характеризуется повреждаемостью оборудования, ожидаемой продолжительностью бесперебойной работы, длительностью перерыва питания электроэнергией, а также ущербом от перерыва питания и другими факторами. Также надежность системы электроснабжения можно определить как способность этой системы и ее отдельных элементов обеспечивать бесперебойное питание электроэнергией промышленное предприятие, не приводящее к срыву производства и авариям в электрической и технологической частях. С проблемой надежности в электроэнергетике связаны следующие практические задачи: статистическая оценка и анализ надежности действующего оборудования и установок; прогнозирование надежности оборудования и установок; нормирование уровня надежности; испытания на надежность; расчет и анализ надежности; оптимизация технических решений по обеспечению надежности при проектировании, создании и эксплуатации электро-технического оборудования, установок, систем; экономическая оценка надежности.

В связи с этим повышение надежности электрооборудования за счет применения современного математического инструментария и оценки работоспособности систем электроснабжения (СЭС) с учетом изменяющихся условий эксплуатации является актуальной задачей исследования.

Аналитическая программа анализа надежности. Одна из основных задач теории надежности – определение показателей надежности систем по известным значениям показателей надежности ее элементов. Для решения данной задачи, прежде всего, нужно формально описать условия работоспособности системы в зависимости от условий работоспособности ее элементов. Это можно сделать несколькими способами: словесным описанием; графически (например, с помощью структурной схемы надежности, дерева отказов или графа состояний); аналитически (с помощью, например, функций алгебры логики); имитационным моделированием объекта исследования [1].

Для существующей и альтернативной схемы электроснабжения узла Гомельской дистанции электроснабжения на рис. 1 представлены упрощенные схемы замещения с учетом расположения объектов в пространстве. При формировании альтернативной схемы электроснабжения использовался критерий минимума длины линий, так как это наиболее значимый фактор с точки зрения интенсивности отказов.

Сравнительные результаты расчета приведены в таблице.

**Конечные показатели расчета для существующей и альтернативной
схемы электроснабжения**

Надежностная характеристика	Исходная схема	Полученная схема
Средняя интенсивность отказов, год ⁻¹	1,706	1,596
Среднее вероятное время восстановления, ч	16,539	16,435
Вероятность безотказной работы в год, %	18,2	20,3

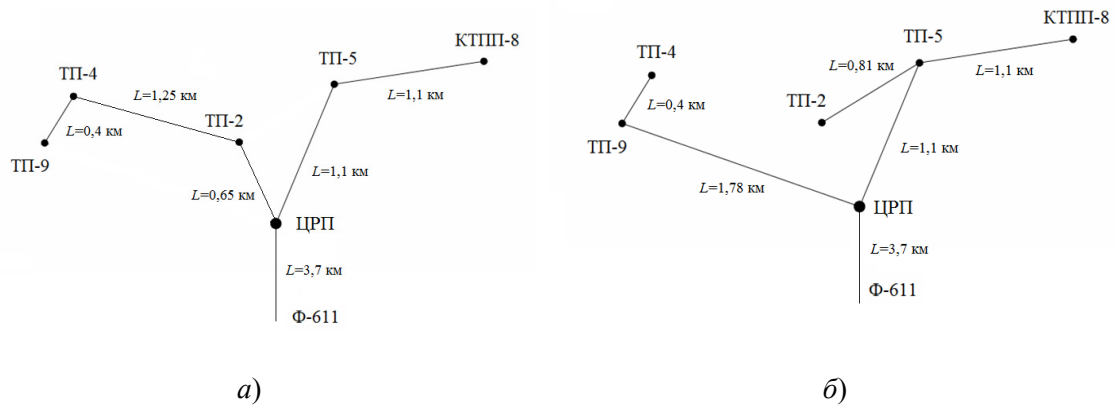


Рис. 1. Упрощенные схемы замещения с учетом расположения объектов в пространстве: а – исходная; б – предлагаемая

Имитационная модель анализа надежности. Имитационное моделирование (ИМ) – метод научного исследования систем, для которого характерно воспроизведение процессов функционирования элементов системы с сохранением их алгоритмов, причинно-следственных связей, последовательности протекания и вероятностного характера. Так, в процессе имитации с помощью генератора случайных чисел разыгрываются моменты наступления и виды отказов некоторых элементов и проверяются условия работоспособности системы в этот момент. Если существующие отказы элементов не нарушают условий работоспособности системы, то разыгрываются очередные отказы [2].

В качестве входных данных задаются: названия элементов СЭС и их параметры надежности; количество проводимых автоматически модельных экспериментов.

В качестве откликов ИМ использовались: вероятность безотказной работы для каждого источника и потребителя; вероятность безотказной работы для всех источников; вероятность безотказной работы для всех потребителей; вероятность безотказной работы для всей системы с учетом важности влияния каждого из элементов СЭС за счет использования весовых коэффициентов.

Практическое применение аналитической программы и имитационной модели электроснабжения заключается в определении наиболее надежных схем электроснабжения. Результаты исследования позволят: прогнозировать показатели надежности электрооборудования СЭС; установить «узкие места» в обеспечении надежности; разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования.

Литература

1. Галушко В. Н. Надежность электроустановок и энергетических систем / В. Н. Галушко, С. Г. Додолев // М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 154 с.
2. Дробов, А. В. Имитационная модель оценки параметров надежности электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта / А. В. Дробов, В. Н. Галушко, И. С. Евдасев // Энергетика и ТЭК. – 2017. – № 2 (167). – С. 16–18.

УДК 620.9

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СОГЛАСНО УСЛОВИЯМ МЕСТНОСТИ

Б. Дж. Гочыев, А. Ч. Нурбердыев, Т. Г. Джумагельдыева

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Плотность загрязнения поверхности изоляторов, их оценка понижения способности изолирования считается одной из важных характеристик. Степень загрязнения изоляторов в зависимости от типа изолятора бывает различной степени, также следует отметить, что загрязненная погода напрямую связана со средой. В некоторых изоляторах по причине дождя ребра закрывают соляную пыль от природного смывания. Поэтому, если находящиеся в самом низу изолятора ребра уменьшают степень только с одной стороны, то велика вероятность сохранения этой соляной грязи с другой стороны. С помощью данных по производственному объединению «Балканэнерго» были проверены отключения, произошедшие вследствие загрязнения изоляторов.

Современные полимерные стержневые изоляторы рода ЛКС для прибрежных сетей нужно подготавливать в удлиненном виде по специальному указанию, иначе общее пробивное направление является недостаточным для увлажнения. Такой процесс приводит к неожиданному отключению электрических сетей.

Итогом нашей проверки является вывод о том, что осязаемые направления рассматриваемых изоляторов должны быть удлиненными. Сравниваются загрязнения полимера ЛК-120/110-А-2 и подвешенного стеклянного ПСД-70Е изолятора. Все данные и расчеты были проверены по (5). Род изолятора – ЛК-120/110-А-2; $l = 1152$ мм; $H = 1490$ мм; $k = 1,1$.

По полной поверхностной части направления течения – эффективная величина напряжения течения:

$$l_{ef} = \frac{l_{isol}}{k} = \frac{1152}{1,1} = 1047 \text{ мм.}$$

Род изолятора – ПСД-70Е; $l = 411$ мм; $H = 127$ мм.

Эффективная величина направления течения:

$$l_{ef} = \frac{l_{isol}}{k} = \frac{411}{1,1} = 373 \text{ мм, или } 37,3 \text{ см.}$$

Число изоляторов в гирляндах по внутреннему напряжению линии:

$$n = \frac{l_0 U_L}{l_{ef}} = \frac{2,75 \cdot 110}{37,3} = 8.$$

В составе изолятора предлагаются 8 изоляторов, общая величина направления течения в них:

$$l_{effem} = l_{ef} \cdot n = 373 \cdot 8 = 2984 \text{ мм.}$$

Как видно из расчетов, рассматриваемая эффективная величина направления течения, собранная из ПСД-70Е стеклянных изоляторов, в 2,85 раз больше, чем эффективная величина направления течения полимерных изоляторов. В подсчетах, проведенных выше, использование стеклянных изоляторов считается целесообразным. Отличаются стеклянные изоляторы от других тем, что после прохождения тока возникает электрическая дуга, изолятор, ломаясь, рассыпается, и это упрощает нахождение поврежденного места. Помимо окружающей среды на прорыв изоляции воздушных электропроводных линий также оказывает влияние создающееся между проводниками и в промежутках между землей электрическое поле. Электрическое поле, возникающее на месте расположения изоляции воздушных электропроводных линий, бывает неравномерным или избыточно неравномерным. В результате проведенных расчетов четырехсантиметровая дистанция в естественных условиях для рассеяния в равномерном электрическом поле должна распороться в промышленной частоте под напряжением 110 кВ. При помещении на эту дистанцию гладкого стекла пробивное напряжение по поверхности уменьшается до 54 кВ. В неравномерном электрическом поле распарывается возникающая в естественных условиях дистанция под промышленной частотой 20,5 кВ. При помещении на эту дистанцию гладкого стекла пробивное напряжение уменьшается до 12 кВ. Чем больше увеличивается степень загрязнения и увлажнения поверхности изолятора, тем больше понижается пробивное напряжение.

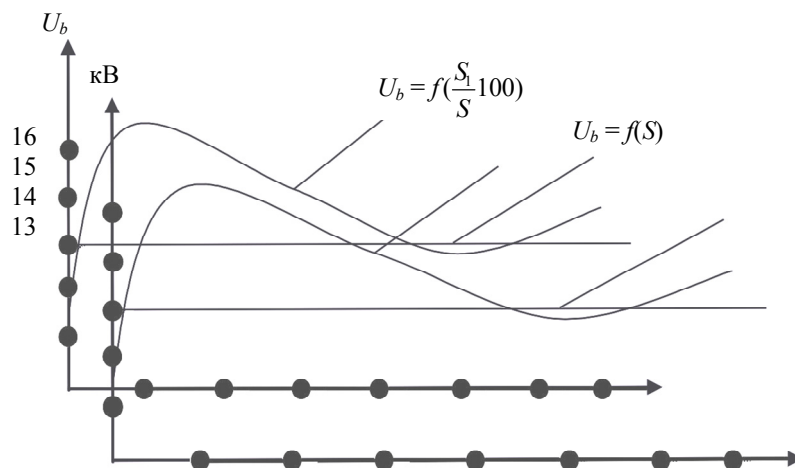


Рис. 1. Соотношение пробивного напряжения по расположению препятствия между электродами, $U_b = f(S)$; $U_b = f(\frac{S}{100})$, схожими с проводниками воздушных электропроводных линий

Таким образом, можно сделать следующие выводы: рассмотрев характеристики изоляционных конструкций, разработанных по современным инновационным технологиям, было предложено изоляторы, способные работать в рассматриваемых условиях использовать в прибрежных электрических сетях.

По результатам экспериментов было установлено, что при расположении препятствия на дальности в 15 % от проводника пробивное напряжение повысится до 14,28 %. Если внедрить результаты в производство, то может быть реализовано следующее:

1. Будет осуществляться более длительная работа системы.
2. Продлится срок службы изоляторов воздушных электропроводных линий.
3. Понизится число неожиданных отключений в электрических сетях.

Л и т е р а т у р а

1. Исследование влияния естественных загрязнений на электрическую прочность линейной изоляции : отчет о НИР / ЛВН узНИИЭ и А ; А. А. Иногатов, К. П. Морозов, Х. Р. Рахимов, Б. П. Обухова. – 2005.
2. Artificial-pollution test for high-voltage outdoor insulators Proc / C. H. A. Ely, P. I. Lambeth // Inst Electr. Engrs, 1994. – 111. – № 5. – С. 991–998.
3. Вихарев, А. И. Проектирование механической части воздушных ЛЭП / А. И. Вихарев, А. В. Вычегжанин, Н. Г. Репкина. – Киров. – 2009.
4. Долгинов, А. И. Техника высоких напряжений / А. И. Долгинов. – М. : Энергия, 1998.

УДК 620.9

**ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ГАЗОТУРБИНЫМИ
УСТАНОВКАМИ ПРОСТОГО ЦИКЛА В КОМБИНИРОВАННЫЙ
(НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МАРЫ-3)**

Б. Дж. Гочыев, Б. А. Бабаев, А. А. Матъякубов

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

В настоящее время в Туркменистане под руководством президента республики осуществляется многочисленное строительство во благо народа и процветания экономики страны.

Одним из них является строительство объектов энергетической отрасли на территории существующей электростанции новой станции комбинированного цикла мощностью 1574 МВт.

Предпосылкой для строительства новой станции стали:

– суммарная установленная мощность электростанций энергосистемы на 01.09.2017 г. составляет 5337,6 МВт;

– максимальная электрическая нагрузка собственных потребителей за 2016 г. составляет 3401 МВт;

– производство электроэнергии за 2016 г. – 23733 млн кВт · ч;

– потребление электроэнергии за 2016 г. – 20035 млн кВт · ч;

– экспорт электроэнергии за 2016 г. – 3751 млн кВт · ч;

– установленная мощность генерирующего оборудования на электростанциях «Туркменэнерго» на 01.01.2017 г. составляет 5357 МВт.

Всего на новой электростанции комбинированного цикла установлено: 6 энергоблоков общей установленной мощностью 1574 МВт.

Каждый энергоблок состоит из:

– 4 газотурбинных установок ГТУ мощностью по 263,5 МВт;

– 4 котлов – утилизаторов КУ;

– 2 паротурбинных установок ПТУ мощностью по 260 МВт.

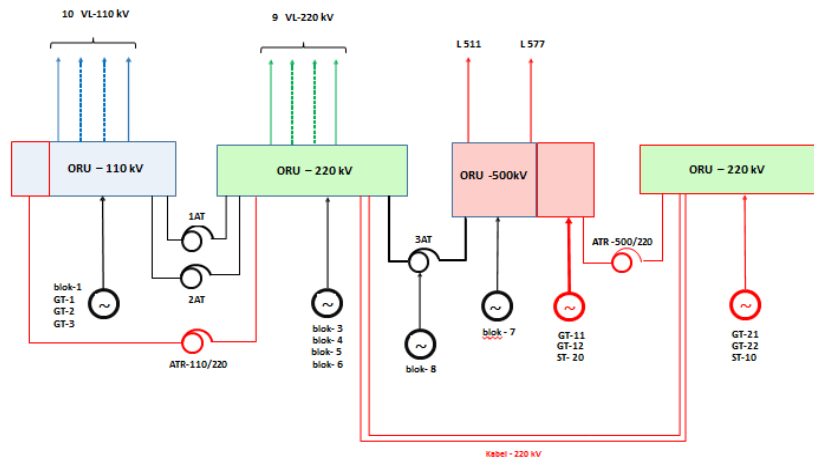


Рис. 1. Структурная электрическая схема г. Мары ГЭС с учетом строительства новой электрической станции мощностью 1574 МВт.

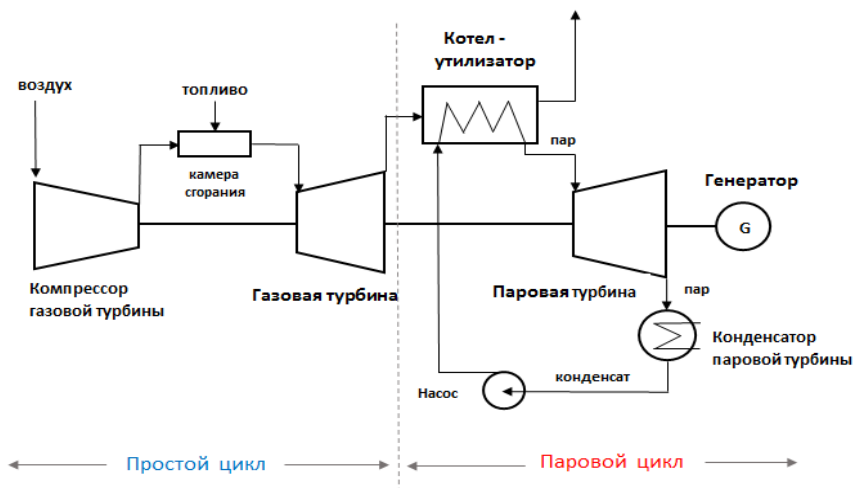


Рис. 2. Структурная схема газотурбинного энергоблока в комбинированном

В комбинированном цикле сама газовая турбина работает так же как и в простом цикле, только выхлопные газы из газовой турбины направляются и используются в котле-утилизаторе тепла для получения из конденсата пара при высокой температуре и давлении. Пар из котла-утилизатора направляется в паровую турбину, где энергия пара вращает ротор турбины и генератора, тем самым вырабатывая дополнительную электроэнергию. Отработанный в турбине пар, как правило, поступает в конденсатор, где конденсируется. Для конденсации отработанного пара используется циркуляционная охлаждающая вода или атмосферный воздух в огромных вентиляторных градирнях. Полученный конденсат с помощью насосов направляется по замкнутой цепи опять в котел-утилизатор. Дополнительная электроэнергия, вырабатываемая в таких ГТУ, составляет обычно плюс 50 % к электроэнергии простого цикла.

Каждая газовая турбина будет потреблять ~ 75 тыс. м³/ч количества газа (при проектной номинальной мощности). Для четырех ГТУ на полной мощности потребуются 300 тыс. м³/ч.

Анализируя вышеизложенное, сформулируем основные выводы, вытекающие из технико-экономического обоснования модернизации электростанций с газотурбинными установками простого цикла в комбинированный:

– с введением электростанций комбинированного цикла выбросы вредных отходов в атмосферу будет уменьшаться на 3,1 млн т/год;

– появится возможность экспорта электрической энергии за границу на 3 млрд кВт · ч/год.

С введением в систему новой электростанции увеличится надежность электроснабжения ответственных потребителей.

Общая проектная потребность в природном газе с учетом расхода на ГТУ МАРЫ-2 составит 350 тыс. м³ · ч.

Литература

1. Гулбрандсен, Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент / Т. Х. Гулбрандсен, П. Л. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск : БГАТУ, 2010. – 240 с.
2. Клименко, В. Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями / В. Н. Клименко, А. И. Мазур, П. П. Сабашук. – Киев, 2008. – 480 с.

УДК 620.97

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУПЕРАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В КОНДЕНСАЦИОННОМ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРЕ

В. П. Никитенко, А. В. Овсянник

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

Цель работы: исследование перспектив внедрения конденсационных теплоутилизаторов для утилизации низкопотенциального тепла уходящих дымовых газов.

Одним из достаточно эффективных путей решения проблемы энергосбережения является глубокая утилизация теплоты уходящих газов в котлах путем их охлаждения до температур, лежащих ниже точки росы, т. е. теплотехнология с конденсацией водяных паров из продуктов сгорания топлива.

В настоящее время температуру уходящих дымовых газов за котлом принимают не ниже 120–130 °С по двум причинам:

– для исключения конденсации водяных паров на боровых, газоходах и дымовых трубах;

– для увеличения естественной тяги, снижающей напор дымососа. При этом температура уходящих дымовых газов непосредственно влияет на значение потерь тепла с уходящими газами.

Конденсационный теплоутилизатор позволяет охлаждать продукты сгорания ниже точки росы и дополнительно использовать скрытую теплоту конденсации содержащихся в продуктах сгорания водяных паров.

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 конденсационного теплоутилизатора, увлажнителя воздуха и теплового насоса. Данная схема 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 и возможность работы с более высокой температурой обратной сетевой воды.

Предварительное увлажнение воздуха, подаваемого на горение, обеспечивает следующие положительные эффекты:

– за счет большого объема водяных паров в дымовых газах увеличивается температура точки росы, что позволяет повысить температуру воды на выходе из конденсера;

– значительное содержание водяных паров в воздухе, поступающем в топку котла. Приводит к снижению температуры горения и уменьшению выбросов оксидов азота на 40–60 %.

Конструктивно увлажнитель похож на конденсер, однако процессы, протекающие в нем, имеют противоположную направленность: вместо охлаждения газов и конденсации водяных паров происходят подогрев и увлажнение воздуха.

Принцип работы теплового насоса заключается в преобразовании тепловой энергии низкого температурного уровня в тепловую энергию более высокого потенциала, необходимого потребителю.

Рассмотрим принцип работы схемы, приведенной на рис. 1.

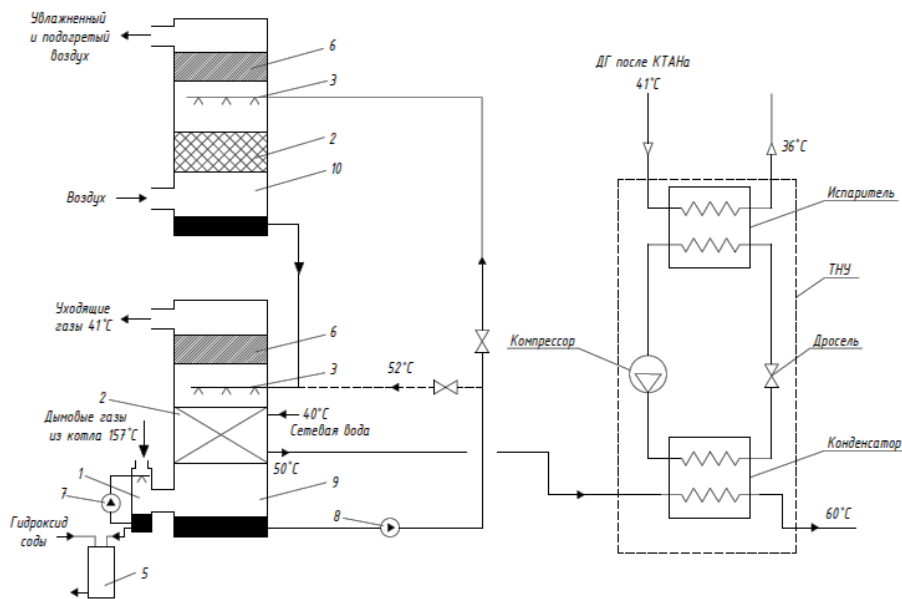


Рис. 1. Схема КТана с увлажнителем воздуха и теплонасосной установкой

Дымовые газы после котла поступают в предварительный охладитель 1, в котором происходит быстрое снижение их температуры при контакте с водой, подаваемой насосом 7 через форсунки. Далее частично охлажденные дымовые газы, насыщенные дополнительными водяными парами, поступают в основную колонну установки, проходя через раскатель, который обеспечивает разбиение подаваемой сверху воды на мелкие капли, что необходимо для получения максимальной площа-

ди поверхности контакта. Это позволяет существенно интенсифицировать охлаждение продуктов сгорания и конденсацию содержащихся в них водяных паров. Потом продукты сгорания проходят через жалюзийный сепаратор 6 и направляются в дымовую трубу. Подогретая вода собирается в нижней части колонны конденсера и насосом 8 подается в конденсер через разделяющее устройство 3. Подогретая вода, подаваемая насосом 8, разделяется на 2 потока – в конденсер и увлажнитель. Воздух, поступающий в увлажнитель, проходит через распылитель 2, в котором происходит его подогрев за счет контакта с каплями воды, подаваемой через распылитель 3. Часть влаги при этом испаряется, а оставшаяся ее часть собирается в низу увлажнителя. За счет охлаждения воды воздухом и частичного испарения температура ее снижается. Далее эта вода подается в конденсер на распылитель 3. Так как в этом случае температура воды, поступающей в конденсер, будет ниже, чем была бы при отсутствии увлажнителя, то температура дымовых газов за установкой снижается и эффективность рекуперации тепла увеличивается. Подогретый воздух проходит через жалюзийный сепаратор 6 и подается в котел. Так как за счет конденсации части содержащихся в дымовых газах водяных паров объем воды постоянно увеличивается, ее излишек сливается из охладителя в накопительный бак 5. Ввиду того, что из-за растворения в воде диоксида углерода, содержащегося в дымовых газах, кислотность ее повышается, в баке 5 осуществляется химическая нейтрализация гидроксидом соды, после чего вода сливается в канализацию.

Сетевая вода с температурой 50 °С поступает в конденсатор теплового насоса, где нагревается до 60 °С. Уходящие дымовые газы после конденсера с температурой 41 °С поступают в испаритель теплового насоса, где охлаждаются до 10 °С. Технико-экономические показатели проекта даны в таблице.

Технико-экономические показатели проекта

Номер п/п	Наименование показателя	Единицы измерения	Значение
1	Установленная мощность, $N_{уст}$	МВт	11,5
2	Число часов работы установленной мощности, $T_{год}$	ч	865
3	Годовая выработка тепловой энергии, $Q_{год}$	ГДж/год	34939
4	Экономия условного топлива на отпуск тепловой энергии в натуральном выражении, $\Delta B_{год}$	т у. т./год	1294,82
5	Экономия топлива на отпуск тепловой энергии в натуральном выражении, $\Delta B_{год}$	тыс. м ³ /год	1052,23
6	Экономия топлива на отпуск тепловой энергии в стоимостном выражении, S_t	тыс. р./год	356233,94
7	Капиталовложения в проект, $K_{рек}$	р.	417750
8	Нормативный срок службы проекта, $T_{сл}$	лет	20
9	Срок окупаемости проекта, $T_{ок}$	лет	1,5

Таким образом, использование схемы утилизации теплоты дымовых газов с применением схемы конденсационного теплоутилизатора, увлажнителя воздуха и теплонасосной установки позволит сэкономить 1294,82 т у. т. в год, что составит 155,28 кг у. т. на 1 Гкал.

Применение схемы с использованием конденсера, увлажнителя и теплового насоса обеспечит глубокую утилизацию теплоты дымовых газов котельного агрегата и тем самым уменьшение теплового загрязнения окружающей среды. Предварительное увлажнение воздуха, подаваемого на горение, позволяет снизить выбросы оксида азота.

Л и т е р а т у р а

1. Кудинов, А. А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках / А. А. Кудинов. – Ульяновск : УлГТУ, 2000.
2. Теплообменные аппараты и установки промышленных предприятий : учеб. пособие / под. ред. Б. А. Левченко. – Харьков : ХДПУ, 1999. – 4.1. – С. 271–279.
3. Влияние конденсационного теплоутилизатора на работу паровых и водогрейных газовых котлов / И. Л. Росляков [и др.] // Теплоэнергетика. – 2015. – № 5. – С. 44–50.
4. Поляков, В. В. Насосы и вентиляторы : учеб. для вузов / В. В. Поляков, Л. С. Скворцов. – М. : Стройиздат, 1990. – 336 с.

УДК 620.92

**ДОСЛІДЖЕННЯ БІФІЛЯРНИХ КОТУШОК ТЕСЛА В ЯКОСТІ
ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЛАМП РОЗЖАРЮВАННЯ**

Л. С. Червінський, С. М. Усенко, М. О. Сподоба

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ*

З розвитком науково-технічного прогресу потреба у кількості електричної енергії кожного року зростає, а також і потреба у збільшенні потужності виробництва електричної енергії, що несе за собою великі капіталовкладення та відповідно підвищення цін для споживачів. Сьогодні пошук дешевої електричної енергії є актуальною та відкритою темою.

В інтернеті з'явилося багато інформації стосовно використання біфілярних котушок Тесли в поєднанні з індукційними плитами для отримання безкоштовної електричної енергії. Ми в Національному університеті біоресурсів та природокористування України, в ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження зацікавилися цим питанням та вирішили провести свої дослідження, з метою спростування або ж підтвердження цієї інформації.

Під час експериментального дослідження використовувалось наступне обладнання: індукційна плитка Saturn ST-EC0187 напругою 220 В; змінного струму частотою 50 Гц; потужність – 2 кВт, струм – 9,1 А. У якості навантажування використовувались лампи ИКЗК-220-250; галогенні лампи КГ-250 потужністю 250 Вт та КГ-2000; потужністю 2 кВт. Для вимірів використовувався цифровий осцилограф DS6035, амперметр Э30, електромагнітної системи, клас точності 1,5, шкала – від 0 до 10 А, вольтметр Э30, електромагнітної системи, клас точності 1,5, шкала – від 0 до 250 В, ватметр однофазний Д5066, феродинамічної системи, клас точності 0,5, шкала – від 0 до 6000 Вт. Дві біфілярні котушки виконані проводом ШВВП 2 х 2,5, кожна має по 16 витків та діаметр 170 мм та одна біфілярна котушка виконана проводом ШВВП 2 х 2,5, яка має 18 витків та діаметр 190 мм.

Результати досліджень наведені у таблиці.

Результати досліджень при паралельному вмиканні трьох біфілярних котушок

Індукційна плита			Біфілярна котушка						
I, A	U, B	$P_{жив.плити}, Вт$	I, A	U, B	$P_{фактичне}, Вт$	$t_{роб. c}$	$P_{ном.навант.}, Вт$	№ навантаж.	Вид навантаження
3	220	660	2,9	179	519,1	3/1*	750	1	ИКЗК – 2 шт., КГ-250 – 1 шт.
3,5	220	770	3,6	175	630	const	1000	2	ИКЗК – 2 шт., КГ-250 – 2 шт.
4,2	220	924	4,5	173	778,5	const	1250	3	ИКЗК – 2 шт., КГ-250 – 3 шт.
5,2	220	1144	5,8	160	928	const	2000	4	КГ-2000 – 1 шт.
5,25	218	1144	7,2	140	1008	const	2500	5	ИКЗК – 2 шт., КГ-2000 – 1 шт.
5,3	216	1144	7,6	135	1026	const	2750	6	ИКЗК – 2 шт., КГ-250 – 1 шт., КГ-2000 – 1 шт.
5,2	220	1144	8,1	133	1077,3	const	3000	7	ИКЗК – 2 шт., КГ-250 – 2 шт., КГ-2000 – 1 шт.
5,2	220	1144	8,7	124	1078,8	const	3250	8	ИКЗК – 2 шт., КГ-250 – 3 шт., КГ-2000 – 1 шт.

*Примітка: 3/1 – 3 секунди робота; 1 секунда – пауза.

За результатами, наведеними в таблиці, побудовано графік споживання потужності з різним навантаженням (рис. 1).

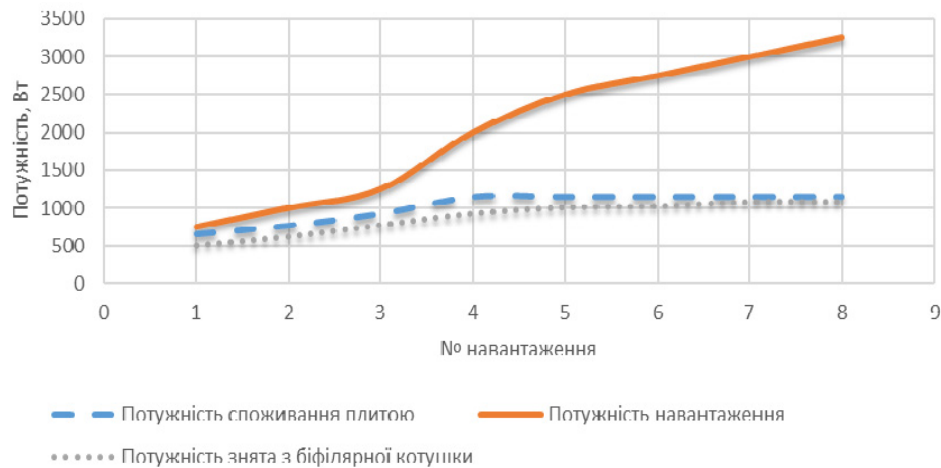


Рис 1. Графік споживання потужності при використанні трьох паралельно з'єднаних біфілярних котушок

Розглянувши графік одразу помітно, що крива фактичної потужності, знятої з паралельно з'єднаних біфілярних котушок, знаходиться значно нижче кривої потужності навантаження, тобто лампи, які використовувались у якості навантаження, не працювали у номінальному режимі.

При цьому крива потужності споживання індукційною плитою знаходиться вище кривої фактичної потужності, знятої з паралельно з'єднаних біфілярних котушок. Це пояснюється втратами електричної енергії в елементах індукційної плитки та в навколишнє середовище при процесі електромагнітної індукції в біфілярних котушках Тесла.

Проаналізувавши дані експериментального дослідження та побудувавши графік споживаної потужності при різних навантаженнях, було виявлено наступне:

1) паралельно з'єднані біфілярні котушки у поєднанні з індукційною плитою не індукують електричної енергії при потужності номінального навантаження, під'єданого до виводів біфілярних котушок, нижче 750 Вт;

2) від 750 до 1000 Вт на виході біфілярних котушок індукується електрична енергія, тривалість дії якої становить 3 с, після чого відбувається пауза тривалістю 1 с;

3) при збільшенні номінального навантаження більше 1000 Вт електрична енергія індукується на виводах біфілярних котушок та не зникає до моменту знаття навантаження;

4) частота струму, знята з біфілярних котушок, дорівнює 30,303 кГц;

5) встановлено, що при живленні височастотним струмом активного навантаження (ламп розжарення) ККД перетворення електричної енергії зменшується обернено пропорційно частоті струму (рис. 1).

6) при зустрічному вмиканні біфілярних котушок, електрична енергія не індукується, через взаємо компенсацію електромагнітних полів самими котушками.

Отже, з вище розглянутого можна зробити висновок, що використання трьох паралельно з'єднаних біфілярних котушок Тесла в поєднанні з індукційними плитами мають дуже низький ККД та отримати надлишкову електричну енергію, використовуючи котушки Тесла, за такою схемою неможливо.

Литература

1. Coil for electro magnets : patent US 512340 / Nikola Tesla – Jen. 9, 1894.

УДК 620.9

ЭКОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С. Н. Бобрышева¹, С. Ф. Мельников²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси», г. Гомель

Огромная зависимость белорусского ТЭК от российского природного газа вызывает необходимость развития кроме атомной энергетике и альтернативных источников энергии. Государственная политика в этой сфере [1] способствует внедрению всех возможных источников, однако основной акцент сделала на местные виды топлива, гидро- и ядерную энергию.

Несмотря на строительство Белорусской АЭС (БелАЭС), не утихают споры сторонников и противников данного решения. Одни делают акцент на экономическую составляющую атомной энергии, другие утверждают о недостоверности расчетов, а именно: неучете затрат, связанных с последующей ликвидацией АЭС. Необходимо, хотя и трудно, выработать объективный подход к ядерной энергетике. Обе

стороны должны осознать это неотъемлемое право на объективную, а не тактическую информацию, выгодную одной из сторон. Каждый при выборе должен сознательно идти на риск. «Обычно риск считается приемлемым, если при сравнении серьезности последствий его теоретическая вероятность намного ниже вероятности природных катастроф, которые рассматриваются как неизбежные и никогда не принимаются в расчет в повседневной жизни» (Кардинал Х. Шверк, Швейцария). Существуют еще и третьи, которые доказывают сравнительно высокую выгоду при первоначальном вложении финансов в альтернативные возобновляемые источники.

В данной статье рассмотрены экологические и экономические аспекты развиваемых в стране источников энергии, в частности: мини-ТЭЦ на местных видах топлива (щепы древесная топливная, торф фрезерный верховой); биогазовых (БГУ) (отходы птицефабрик и животноводческих стоков с различными органическими добавками); ветроэнергетических установок (ВЭУ); ГЭС на крупных реках; солнечных батарей (СБ); ядерной энергии (АЭС) – альтернативных тепловым электростанциям, работающих на российском природном газе.

При рассмотрении экологического аспекта учитывались выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу при сжигании различных видов топлива. Выбросы определяли расчетными методами в соответствии с техническим кодексом установившейся практики ТКП 17.08-01–2006, в редакции от 12.02.2009 г. Расчет выбросов ЗВ привязывался к объему топлива, необходимого для производства 10 млн кВт · ч полезной энергии в виде электрической и тепловой. Объем каждого вида топлива определялся из опыта эксплуатации лучших альтернативных источников, действующих в стране, – БГУ на свинокомплексе СПЦ «Западный» и Пружанской мини-ТЭЦ на местных видах топлива.

В работе представлены данные по экологии (глобального и локального уровня) использования и других источников энергии, что позволило провести их сравнительный анализ. Наша страна подписала Парижское климатическое соглашение по сокращению выбросов парниковых газов. Если учитывать эти выбросы в атмосферу в соответствии с ТКП 17.09-01-2011, то ТЭЦ на природном газе оказывается в 1,7–2,0 раза «предпочтительнее» источников на древесной щепе и торфе, а «нулевые» выбросы парниковых газов и ЗВ в атмосферу от АЭС и возобновляемых источников дают им существенное преимущество в экологичности перед электростанциями на местных видах топлива.

Экономический аспект базировался на оценке минимально возможной себестоимости, вырабатываемой источником электроэнергии. Себестоимость определялась соотношением объема полезной энергии, выработанной за гарантийный срок эксплуатации источника, к понесенным затратам на ее производство (возведение источника, топливо, заработная плата персонала и возможная ликвидация объекта). Предполагалась безаварийная работа генерирующего источника в течение гарантийного срока эксплуатации.

Анализ представленных расчетных данных позволяет констатировать, что расчетная себестоимость атомной электроэнергии по основным затратным составляющим является наиболее низкой из всех других рассмотренных источников энергии, даже с учетом последующей ликвидации АЭС.

Экология и экономика современной энергетики завязаны в многофакторное понятие эффективности производства энергии, куда включаются не только затраты на строительство и эксплуатацию объектов и оборудование, но и затраты на утилизацию отходов (атомная, солнечная энергетика); тепловое загрязнение вод (атомная

и тепловая энергетика); очистка выбросов в атмосферу (тепловая энергетика); вывод земель под строительство (солнечная, атомная энергетика). Комплексный учет всех факторов возможен только в процессе эксплуатации соответствующих объектов, а опыта в области атомной энергетике у белоруссов не имеется, но учитывая мировой опыт, при существующем уровне развития технологий альтернативы атомной энергетике с позиций экологии и экономики нет.

Литература

1. Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы.
2. Режим доступа: <http://www/energoeffect.gov.by>. – Дата доступа: 15.08.2013.
3. Кундас, С. П. Оценка потенциала биогаза в Республике Беларусь / С. П. Кундас // Энергоэффективность. – 2012. – № 4. – с. 32–36.
4. Режим доступа: <http://www/old.agriculture.by/archives>. – Дата доступа: 17.12.2015.
5. Рачительно использовать то, что дано природой // Энергоэффективность. – 2013. – № 11. – С. 20.
6. Экономика является основным стимулом развития ядерной энергетике // Энергетика и ТЭК. – 2009. – № 11 (80).
7. Режим доступа: <http://www/inform.kz/rus/>. – Дата доступа: 9.10.2015.
8. Весь в лучах дневного света // Республика. – 2016. – 21 апр. – С. 8.
9. Атомная энергия, общество, безопасность – 2014 : IX Междунар. обществ. форум-диалог, 10–11 апр. 2014 г.

УДК 536.422

ПАРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕРМОСИФОНЫ В СИСТЕМАХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

**Л. Л. Васильев¹, А. С. Журавлев¹, А. В. Шаповалов², А. В. Родин²,
В. А. Олехнович¹, Л. А. Драгун¹, Е. С. Данильчик¹, А. А. Артюх¹, В. С. Лапко¹**

*¹Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси», г. Минск*

*²Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Тепловые трубы и термосифоны – автономные двухфазные устройства для передачи тепла с более высокими теплопроводящими свойствами, чем у самых теплопроводных металлов – совместно с тепловыми насосами могут с высокой эффективностью использоваться в системах утилизации энергии возобновляемых источников и вторичных энергоресурсов [1]–[3]. Одним из видов таких проводников тепла является пародинамический термосифон (ПДТ). Пародинамические термосифоны предназначены для передачи теплового потока в горизонтальном направлении на большие (десятки метров) расстояния. На рис. 1 представлены конструкции ПДТ с объемным и протяженным испарителями.

Пародинамические термосифоны обладают высокой теплопередающей способностью (десятки кВт), это обеспечивает возможность разнообразного конструктивного исполнения с большой длиной (несколько десятков метров) зоны теплоотдачи, в том числе в виде изогнутых, гибких либо сборных элементов. Используя принцип передачи тепла, реализуемый в ПДТ, можно создавать устройства для нагрева и охлаждения воздуха, грунта и дорожного покрытия (асфальта, бетонных плит), для предотвращения обледенения, либо осуществления таяния снега и образовавшегося льда на крышах зданий, стоянках автомобилей и т. д.

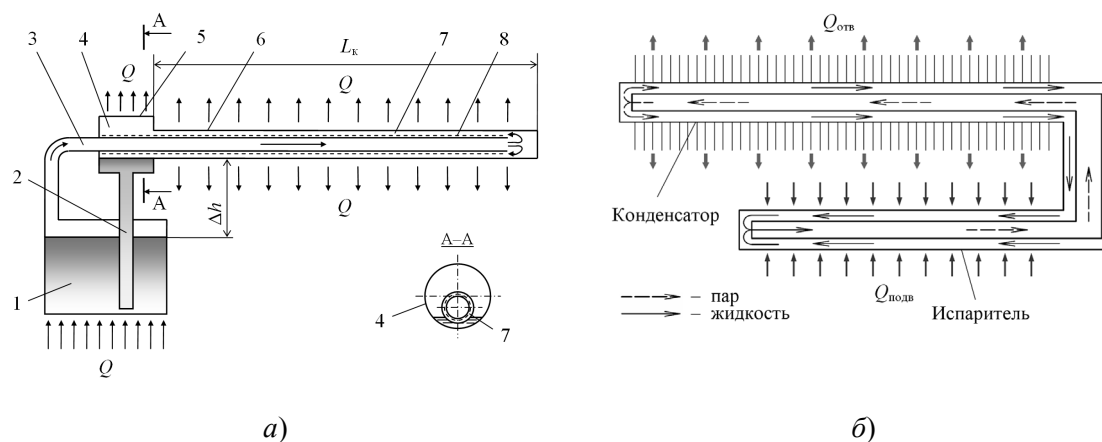


Рис. 1. Пародинамические термосифоны

с объемным (а) и протяженным (б) испарителями:

1 – испаритель; 2 – жидкостная трубка; 3 – паропровод; 4 – дополнительный конденсатор; 5 – теплообменная поверхность дополнительного конденсатора; 6 – теплообменная поверхность основного конденсатора; 7 – кольцевой канал (транспортная зона – основной конденсатор); 8 – пористое покрытие; Δh – гидростатический напор; L_k – длина конденсатора

Такие устройства могут найти применение для обогрева железнодорожных стрелочных переводов с целью оттаивания снега и борьбы с обледенением стрелок. В условиях мороза в зимний период снег и лед могут препятствовать переводу стрелки в нужное положение. Управление подавляющим большинством стрелочных переводов – дистанционное – с помощью электропривода, и при неприлегании острия стрелки к рамному рельсу произойдет повышение величины тока через обмотки электродвигателя стрелочного электропривода, что может привести к перегоранию предохранителя или сгоранию двигателя и в конечном итоге – к невозможности перевода стрелки с пульта управления. В качестве источника энергии системы борьбы со льдом могут быть использованы электрические нагреватели либо миниатюрные газовые горелки закрытого типа, а при комбинации с тепловыми насосами – тепло подпочвенного грунта, водоемов, грунтовых, сточных и технологических вод, воздуха. Специалистами фирмы TripleS-GmbH (Германия) созданы системы геотермального обогрева стрелочных переводов рельсовых систем, пассажирских платформ, пешеходных переходов и т. д. Данное оборудование эксплуатируется в Германии, Чехии, Венгрии, системой TripleS оснащены два стрелочных перевода на станции Октябрьской железной дороги в России [4], [5]. Одним из главных компонентов системы является теплообменник, прикрепляемый к рельсу и передающий ему тепло от теплового насоса. В качестве такого теплообменника может использоваться ПДТ, обладающий высокой эффективной теплопроводностью и, следовательно, способный передавать тепло с минимальными потерями.

Пародинамические термосифоны длиной 10 м и более могут применяться для нагрева пола в помещениях, компонентов установок для сушки древесины, семян трав и зерна. Наличие изотермической сушильной панели обеспечивает качественную сушку термолабильных материалов и гарантирует отсутствие локальных перегревов, которые могут служить причиной деформаций материалов, подвергающихся влагоудалению.

Устройства с протяженным испарителем (рис. 1, а) целесообразно применять в случаях с рассредоточенным источником тепла. Такие ПДТ удобно монтировать, например, для организации теплообмена в адсорберах теплового насоса или холодильника на твердых сорбентах. Пародинамические термосифоны с двумя конденсаторами обеспечивают трансформацию постоянного теплового потока, подводимого к испарителю, в циклически изменяющиеся тепловые потоки, которые отводятся от конденсаторов. Периодическое включение и выключение конденсаторов осуществляется путем передачи электрических сигналов на клапаны по заданной программе. Конденсаторы термосифона размещены вдоль оси цилиндрических адсорберов и нагревают сорбент от солнечного излучения. Длина конденсаторов – 1 м; термическое сопротивление термосифона – $R = 0,05$ К/Вт. Подобный термосифон был использован в адсорбционном солнечном холодильнике для организации поочередной десорбции хладагента в двух адсорберах.

Пародинамические термосифоны весьма перспективны и могут применяться для обогрева помещений, в сушильных установках, системах предотвращения скопления снега на кровлях, при обмерзании железнодорожных стрелочных переводов, в адсорбционных тепловых насосах и холодильных установках, емкостях для хранения и безопасной транспортировки природного газа в связанном углеродными сорбентами состоянии и т. д. Использование этих устройств способствует экономии топлива и энергетических ресурсов.

Литература

1. Vapordynamic thermosyphon – heat transfer two-phase device for wide application / L. L. Vasiliev [et al.] // Archives of Thermodynamics. – 2015. – Vol. 36, No. 4. – P. 65–76.
2. Использование возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов с помощью тепловых труб / Л. Л. Васильев [и др.] // Энергоэффективность. – 2016. – нояб. – С. 28–31.
3. Васильев, Л. Л. Утилизация возобновляемых и вторичных энергоресурсов с помощью тепловых труб и термосифонов / Л. Л. Васильев, А. С. Журавлев // Энергетика и ТЭК. – 2017. – № 2. – Т. 167, № 3. – С. 20–22.
4. Функе, М. Геотермальный обогрев стрелочных переводов / М. Функе, Н. Плишке // Путь и путевое хоз-во. – 2012. – № 12. – С. 29–30.
5. Функе, М. Геотермальный обогрев посадочных платформ / М. Функе, Н. Плишке // Путь и путевое хоз-во. – 2013. – № 1. – С. 36–37.

УДК 697.1:536.2

ГЕЛИОСИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ С ДВУХФАЗНОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Л. Л. Васильев¹, Д. Х. Харлампиди², В. А. Тарасова², А. С. Журавлев¹,
М. А. Кузнецов², Л. П. Гракович¹, М. И. Рабецкий¹

¹ Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси», г. Минск

² Государственное научное учреждение «Институт проблем
машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины», г. Харьков

В последнее десятилетие происходят значительные изменения в энергетике, жилищно-коммунальном хозяйстве, сельском хозяйстве, пищевой промышленности, архитектуре и строительстве. Основными тенденциями являются существенное со-

крашение потребности в тепловой энергии от источников на углеводородном топливе и снижение потерь тепловой энергии при ее транспортировке от генерирующих мощностей к потребителям. Большие перемены имеют место в секторе теплоснабжения, горячего водоснабжения, кондиционирования помещений. Традиционные источники топлива и энергии активно вытесняются возобновляемыми. Одним из основных таких источников является солнечное излучение, которое может быть использовано для производства электричества с помощью фотоэлектрических преобразователей либо в целях получения тепла для отопления помещений и систем горячего водоснабжения. Простая водонагревательная установка состоит из коллектора солнечной энергии, бака-аккумулятора, дополнительного нагревателя воды и насоса. Для тепло- и хладоснабжения предназначены более сложные комбинированные системы, состав которых дополняется сорбционной холодильной установкой, также использующей энергию солнечного излучения. Получаемый холод может быть предназначен для кондиционирования помещений в дневное время.

Основным элементом гелиоустановки является солнечный коллектор, конструкция которого в значительной степени определяет эффективность и стоимость всей системы. Плоский коллектор позволяет использовать прямую и рассеянную солнечную радиацию без необходимости слежения за Солнцем. Конвективные коллекторы, передача тепла в которых производится жидкостью при ее вынужденном течении, достаточно эффективны, технологичны и недороги, однако обладают недостатками: реверсивность теплообмена при отсутствии солнечного излучения, сложность дренажа системы. В качестве теплоприемных и теплопередающих элементов солнечных коллекторов могут применяться автономные замкнутые двухфазные устройства для передачи тепла – тепловые трубы (рис. 1), обеспечивающие равномерность температуры по длине приемного элемента и снижение тепловых потерь. При этом повышается надежность коллектора, предотвращается сброс тепла из системы при отсутствии солнечного излучения вследствие однонаправленности теплопередачи наклонных тепловых труб, работающих в поле гравитации. К недостаткам коллекторов с тепловыми трубами можно отнести их более высокую стоимость [1].

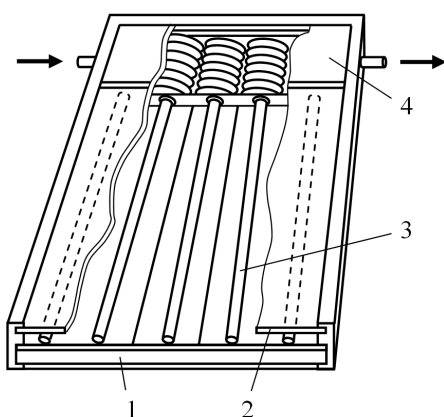


Рис. 2. Плоский коллектор солнечной энергии с тепловыми трубами:

1 – теплоизоляция; 2 – стеклянное покрытие; 3 – тепловые трубы;

4 – жидкостный теплообменник

Полезное количество тепла, производимое солнечным коллектором с селективной поверхностью, в который вмонтированы вакуумные изоляторы и тепловые трубы, может быть найдено из следующего уравнения [1]:

$$Q = F_R A_S \left[S - \frac{A_r}{A_S} U_L (T_r - T_a) \right], \quad (1)$$

где F_R – коэффициент отвода; S – энергия солнечного излучения, поглощенная единицей площади приемника; A_S – общая площадь коллектора; A_r – площадь абсорбционной поверхности коллектора; U_L – коэффициент теплопередачи; T_r – внутренняя температура коллектора; T_a – температура окружающей среды.

Важным звеном, обеспечивающим эффективность передачи, полученной в гелиоколлекторе, энергии потребителю, является контур циркуляции теплоносителя.

Существующие способы циркуляции теплоносителя в системах отопления, такие, как применение насосов, или осуществление движения горячей воды через отопительные приборы за счет движущего напора циркуляции, обусловленного разностью плотностей нагретой и охлажденной воды в опускных и подъемных трубах, имеют свои недостатки. Так, например, естественно-циркуляционные системы с гомогенным теплоносителем обладают неоправданно высокой металлоемкостью, с другой стороны – работа систем с принудительной циркуляцией теплоносителя связана с затратами энергии на привод насосов. Зачастую работа насосов сопровождается шумом и вибрациями, кроме того, насос является источником аварий и требует систематического надзора.

Высокой эффективностью использования солнечной энергии обладает естественно-циркуляционная система обогрева и охлаждения объектов, работающая по принципу термодинамического насоса, образованного двухфазной многокомпонентной жидкостью, без подвода внешних источников первичной энергии (электроэнергии), имеющая повышенную надежность движения теплоносителя, экономичность работы, низкую металлоемкость, простоту конструкции. В таких системах происходит существенное увеличение движущего напора циркуляции за счет использования работы расширения испаряющейся в подъемной части циркуляционного контура легкокипящей жидкости и конденсации ее паров во вспомогательном теплообменнике.

Предлагаемая технология создания гелиосистемы отопления с двухфазной многокомпонентной жидкостью также позволяет реализовать новые перспективные способы интенсификации теплообмена, основанные на использовании наносред.

Гелиотехнологии могут быть успешно применены для различных целей, обеспечивая экономию топлива при существенном улучшении экологической обстановки.

Л и т е р а т у р а

1. Васильев, Л. Л. Тепловые трубы в системах с возобновляемыми источниками энергии / Л. Л. Васильев, Л. П. Гракович, Д. К. Хрусталеv. – Минск : Наука и техника, 1988. – 159 с.
2. Duffie, J. A. Solar Engineering of Thermal Processes / J. A. Duffie, W. A. Beckman. – 4th edition. – Hoboken, New Jersey (USA) : Wiley, 2013. – 936 p.

УДК 620.9

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЕСТНЫХ УСЛОВИЯХ

М. Тохтаева

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары,

Топливный элемент – это электрохимическое устройство и химические вещества для электрохимической реакции подаются в него извне. Они не могут хранить электрическую энергию как другие химические источники тока, но для некоторых электростанций, использующих непостоянные источники энергии (солнце, ветер), они образуют устройство для хранения энергии. На данный момент разработано, совершенствуется и используется несколько видов топливных элементов:

1. Водородно-кислородный топливный элемент содержит протонопроводящую полимерную мембрану. Эта мембрана разделяет два электрода – анод и катод. Каждый электрод – это угольная пластина, на поверхность которого нанесен катализатор. В качестве катализатора используется платина (Pt) или сплав на основе платины и другие композиции. На катализаторе анода молекула водорода диссоциирует и теряет электроны. Протоны проводятся через мембрану к катоду, но мембрана не пропускает электроны и они отдаются во внешнюю цепь. На катализаторе катода молекула кислорода соединяется с электроном (который подводится из внешних коммуникаций) и пришедшим протоном и образует воду, которая является продуктом реакции.

Топливные элементы обладают рядом ценных качеств:

- 1) высокий коэффициент полезного действия;
- 2) экологичность;
- 3) компактные размеры.

2. Твердооксидные топливные элементы, разновидность топливных элементов, электролитом в которых является керамический материал (диоксида циркония (ZrO_2) и др.), проницаемый для ионов кислорода. Эти элементы работают при температуре 700–1000 °С и применяется для стационарных установок мощностью от 1 кВт и выше (рис. 1).

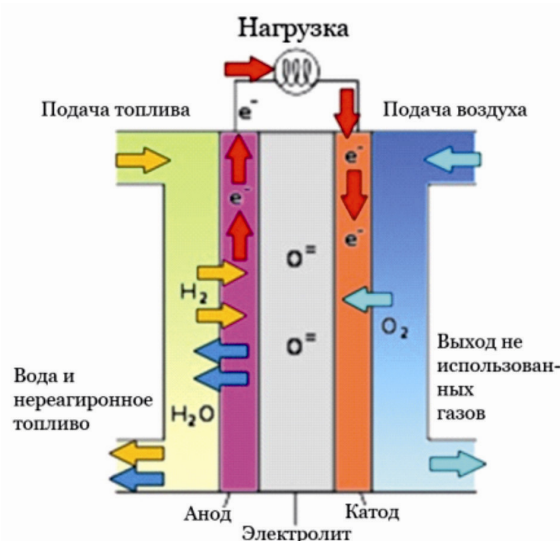


Рис. 1. Схема работы твердооксидного топливного элемента

Их отработанные газы могут быть использованы для приведения в действия газовой турбины, чтобы повысить коэффициент полезного действия установки, и она может достигать 70 %. В этих топливных элементах ионы кислорода проходят через твердый оксид, который используется в качестве электролита, и при высокой температуре реагируют с водородом на аноде. Хотя в твердооксидных топливных элементах используются специальные керамические материалы для поддержания высокой рабочей температуры, они не нуждаются в таком дорогом катализаторе, как платина.

Твердооксидные топливные элементы не отравляются монооксидом углерода (СО), и в них могут использоваться разные виды топлива: метан, пропан, бутан, биогаз. Топливо не должно содержать серу, она должна быть удалена полностью перед поступлением его в топливный элемент. Это задача может быть решена с помощью адсорбентов.

При производстве топливных элементов существуют в основном две проблемы. Во-первых, используются дорогие благородные металлы: платина (Pt) или сплав на основе платины и другие композиции, но некоторые топливные элементы, например, твердооксидные топливные элементы работают без них. Во-вторых – для работы топливных элементов в качестве топлива используется водород, но в некоторых топливных элементах в качестве топлива используется метиловый или этиловый спирт, природный газ, биогаз. На данный момент очень перспективной становится возможность получения водорода из биомасс с использованием бактерий, например, *Rhodobacter spheroides*.

В Туркменистане имеются богатые залежи солей калия, фосфориты, из которых технологической очисткой получают гидроксид калия и фосфорную кислоту. Эти реактивы можно использовать при производстве щелочных и фосфорнокислотных топливных элементов. Иностранные компании, работающие над усовершенствованием топливных элементов, приведены в таблице.

Иностранные компании, работающие над усовершенствованием топливных элементов

Компания	Страна	Технология	Мощность ТЭ
<i>Acumentrics</i>	США	SOFC	2–10 кВт
<i>Ceramic Fuel Cells</i>	Австралия – Великобритания	SOFC	1 кВт. Общая КПД – более 80 %
<i>Fuel Cell Technologies</i>	США	SOFC	5 кВт
<i>Kyocera</i>	Япония	SOFC	1 кВт
<i>Toyota Motor Corporation we Aishin Seiki bilen bile</i>	Япония	SOFC, PEMFC	Производятся испытания ТЭ мощностью 1 кВт. КПД – 90 %. SOFC ТЭ мощностью 0,7 кВт

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Электростанции, работающие с топливными элементами, более экологичны и экономичны по сравнению с другими альтернативными источниками.
2. Электростанции, работающие с топливными элементами, способны работать в непрерывном и стабильном режиме, если сравнивать с другими альтернативными источниками.

3. Использование топливных элементов в энергетике Турмениистана повысит экспортный потенциал и сэкономит природные ресурсы.

4. Для производства некоторых видов топливных элементов имеется возможность использования местного сырья и материалов.

Литература

1. Таубе, П. Р. От водорода до... нобелия / П. Р. Таубе, Е. И. Руденко. – М. : Высш. шк., 1999.
2. Дасоян, М. А. Химические источники тока / М. А. Дасоян. – 2-е изд. – Л., 1969.
3. Романов, В. В. Химические источники тока / В. В. Романов, Ю. М. Хашев. – М., 1968.
4. Орлов, В. А. Малогабаритные источники тока / В. А. Орлов. – 2-е изд. – М., 1970.
5. Greenwood, N. N. Chemistry of the Elements / N. N. Greenwood, A. Earnshaw. – Oxford : Butterworth, 2000.
6. The Primary Battery / ed. G. W. Heise, N. C. Cahoon. – N. Y. – L., 1971. – T. v.

УДК 621.313.333

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ДЕФЕКТОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЯХ

Н. В. Грунтович, И. В. Петров

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

При комплексном техническом диагностировании оборудования применение теории распознавания образов является предпочтительным и наиболее эффективным при определении технического состояния. Комплексное техническое диагностирование отличается от многопараметрического тем, что при комплексном анализе учитываются одновременно несколько параметров при их изменении. Это повышает достоверность диагностирования. Например, при вибродиагностировании подшипников качения по прямому спектру в диапазоне 5–5000 Гц контролируется уровень вибрации на всех информативных частотах, а их может быть больше 20. При таком анализе выявляется целый ряд дефектов:

- овальность внутреннего кольца;
- разноразмерность тел качения;
- микрораковины (микроволнистость) на кольцах и телах качения;
- задиры, наклепы, выбоины;
- магнитная вибрация;
- нарушение расклиновки обмотки статора.

Такой эффект нельзя получить при измерении вибрации по общему уровню в диапазоне 10–200 Гц (мкм) и 10–1000 Гц (мм/с).

На рис. 1 представлены результаты диагностирования изоляции асинхронных двигателей в пространстве параметров $\text{tg}\delta/U$ и коэффициента микропористости $\Delta C/C_{50}$, где ΔC – емкость абсорбционная; C_{50} – емкость геометрическая. Чем ближе полученная точка текущего состояния к линии пробоя, тем больше износ изоляции.

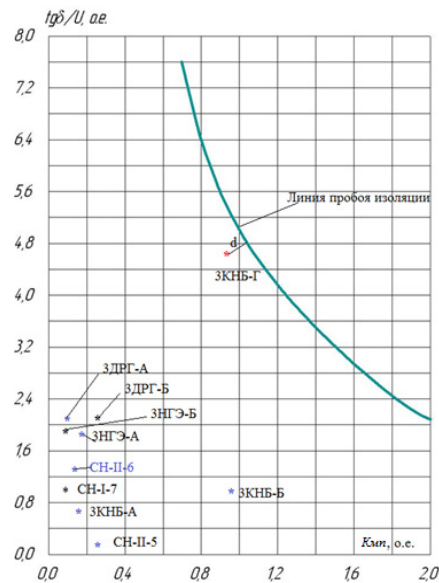


Рис. 1. Зависимость $\text{tg}\delta = F(U)$ и K_m для статорной обмотки различных асинхронных двигателей

На рис. 2 представлены эталоны технического состояния изоляции статорной обмотки в пространстве параметров $\text{tg}\delta/U$ и частичные разряды (ЧР). Смысл комплексного анализа в следующем. Например, если зарегистрированы только ЧР, тогда износ изоляции оценивается только по уровню ЧР. Если зарегистрированы tg и ЧР, тогда оценка выполняется по двум параметрам. Например, $\text{ЧР} = 500$ пКл; $\text{tg}\delta/U = 1,5$ %, в этом случае координаты текущего состояния попадают в аварийную область.

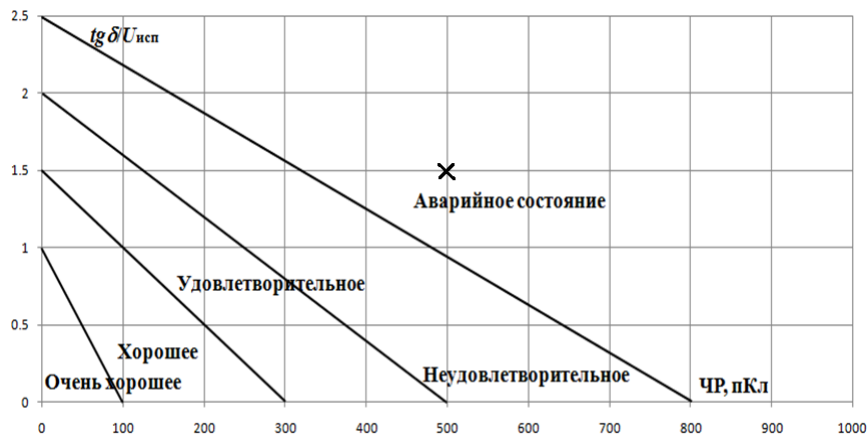


Рис. 2. Эталоны технического состояния изоляции по $\text{tg}\delta = F(U)$ и частичным разрядам

Сделаем следующие выводы: применение теории распознавания образов при комплексном диагностировании повышает достоверность выявления дефектов.

Литература

1. Горелик, А. Л. Методы распознавания : учеб. пособие для вузов / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М. : Высш. шк., 1977. – 222 с.

УДК 621.311.017(476)

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ВВП В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С. А. Жеранов

*Проектное унитарное предприятие «Калийпроект»,
г. Солигорск, Республика Беларусь*

В соответствии с [1], под энергоемкостью производства продукции понимается количество израсходованного топлива и (или) энергии на технологические процессы изготовления продукции, работы и оказание услуг. При этом следует отметить, что данный термин одновременно относится как к основным, так и вспомогательным технологическим процессам. Энергоемкость является одним из ключевых показателей устойчивого развития, а ее динамика характеризует уровень эффективности энергопотребления в стране.

Целью исследования является поиск возможных путей повышения эффективности энергопотребления путем анализа официальной статистической информации за период с 2010 по 2017 г., сформированной органами государственной статистики по результатам проведения государственных статистических наблюдений [2].

Численным выражением энергоемкости является показатель $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}$, представляющий собой отношение ТЭР, тыс. т у. т., потребляемых экономической системой государства, к величине ВВП, млрд р. (в постоянных ценах 2005 г.), характеризующей результат функционирования данной системы. Однако для проведения статистического анализа влияния различных факторов на данный показатель ТЭР раскладывается на составляющие: ТЭР^{неэн} – неэнергетическая составляющая валового потребления ТЭР (потери при преобразовании и распределении, использование в неэнергетическом секторе); ТЭР^{эн} – энергетическая составляющая валового потребления ТЭР (конечное потребление).

Энергоемкость ВВП будет включать в себя неэнергетическую и энергетическую составляющие, а итоговое выражение для определения показателя $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}$ примет следующий вид:

$$\mathcal{E}_{\text{ВВП}} = 1000 \frac{\text{ТЭР}}{\text{ВВП}} = 1000 \left(\frac{\text{ТЭР}^{\text{неэн}} + \text{ТЭР}^{\text{эн}}}{\text{ВВП}} \right) = \mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{неэн}} + \mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{эн}}, \text{ кг у. т./млн р.}$$

Динамика энергоемкости ВВП за период с 2010 по 2017 г. представлена на рис. 1.

Для повышения эффективности анализа динамики энергоемкости ВВП следует выделить базисный год – 2010 г., а сравнение показателей целесообразно провести в процентном отношении. В натуральном выражении энергоемкость ВВП для 2010 г. составляет 423,8 кг у. т./млн р. (в ценах 2005 г.); валовое потребление ТЭР – 39198 тыс. т у. т. (в угольном эквиваленте).

Энергоемкость ВВП находится в прямой зависимости от величины и структуры ВВП. Однако наращивание темпов роста производства ограничивается текущим состоянием национальной и мировой экономик. Дальнейшее снижение показателя $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}$ возможно только путем эффективного и рационального использования ТЭР.

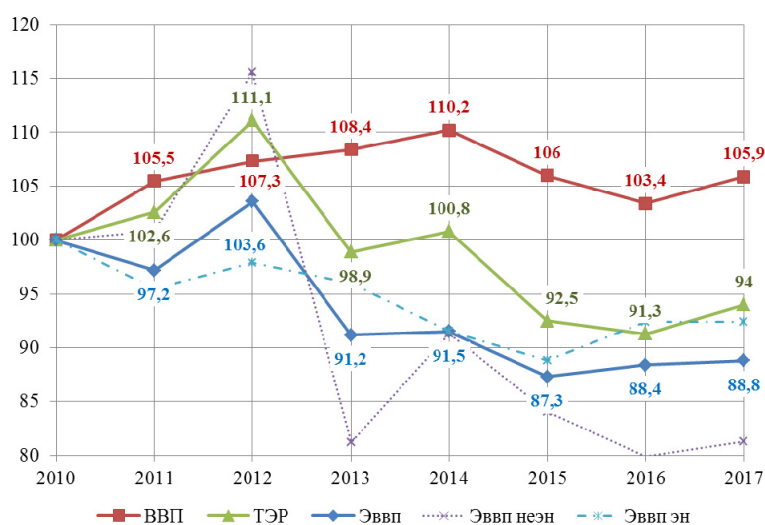


Рис. 1. Динамика энергоемкости ВВП (в % к 2010 г.)

Анализ статистических данных по сводным энергетическим балансам Республики Беларусь и балансам отдельных видов топлива и энергии в динамике за период с 2010 г. по 2017 г. позволил получить следующие основные результаты:

1. Прослеживается устойчивая тенденция к общему снижению энергоемкости ВВП в республике. За период с 2010 по 2017 г. снижение данного показателя составило 11,2 %, в том числе электроемкости – 6,8 %; теплоемкости – 14,1 %. Государственная программа «Энергосбережение» до 2020 г. ставит целью дальнейшее снижение к 2021 г. показателя $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}$ не менее чем на 2 % к уровню 2015 г. [3]. Несмотря на общую тенденцию к снижению, показатель энергоемкости ВВП Беларуси в настоящее время остается существенно более высоким по сравнению с высокоразвитыми странами [4].

2. Рост или падение 1 % ВВП приводит к изменению показателя $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{ЭН}}$ не более чем на 3 % по отношению к предыдущему году, что позволяет говорить об устойчивом характере конечного потребления ТЭР. При том же условии изменения ВВП показатель $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{неЭН}}$ имеет следующую динамику: увеличение в 2012 г. – 8,73 %; снижение в 2013 г. – 28,7 % и последующее увеличение на 7,6 % – в 2014 г. по отношению к предыдущему году. Более детальное изучение структуры сводного топливно-энергетического баланса позволило сделать вывод, что скачкообразное изменение неэнергетической составляющей энергоемкости ВВП обусловлено неустойчивым потреблением ТЭР в неэнергетическом секторе. Следовательно, повысить эффективность энергопотребления можно за счет оптимизации производственного процесса в тех отраслях промышленности, где ТЭР используются в качестве сырья для производства химической, нефтехимической и другой нетопливной продукции, а также на нетопливные нужды.

3. Энергоемкость обрабатывающей промышленности характеризуется устойчивым снижением – на 17,1 % в 2017 г. – к уровню 2010 г. Наилучших показателей $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}$ удалось достичь в производстве текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха (–48,4 %); производстве химических продуктов (–36,9 %); производстве продуктов питания, напитков и табачных изделий (–24,1 %). В то же время горнодобывающая промышленность, а также производство кокса и продуктов нефтепереработки характеризуются неустойчивым показателем $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}$.

Литература

1. Энергосбережение. Основные термины и определения : СТБ 1770–2016. – Взамен СТБ 1770–2009 ; введ. 01.07.2017. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 20 с.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 08.10.2018.
3. Департамент по энергоэффективности. – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/>. – Дата доступа: 08.10.2018.
4. OECD/IEA // International Energy Agency. – Mode of access: <https://www.iea.org/>. – Date of access: 08.10.2018.

УДК 621.311

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТЭР
ПРИ УЧЕТЕ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ**

Н. В. Грунтович¹, Л. М. Маркарянц², А. В. Виноградов³

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный лингвистический университет имени Мориса Тореза»,
Российская Федерация*

³*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
г. Орел, Российская Федерация*

Диагностирование энергетической эффективности подразумевает оценку текущего состояния энергетической эффективности (ЭЭФ) технической системы и прогнозирование ее изменения во времени при учете влияющих факторов. В качестве показателей ЭЭФ определены абсолютные или удельные величины потребления ТЭР на производство единицы продукции. В Российской Федерации в качестве индикаторов ЭЭФ, наряду с используемыми в Республике Беларусь общим и удельным расходом ТЭР и энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции, используется условно-постоянная составляющая энергопотребления, не зависящая от объемов производства предприятия.

Сложность диагностирования ЭЭФ объясняется большим количеством электроприемников (ЭП), входящих в состав современных технологических комплексов. Начавшееся в 50–60-х гг. *качественное* (по составу и сложности оборудования) и *количественное* изменение технологического оборудования *привело* к росту количества электроприемников (ЭП) от 10^2 до 10^5 по отдельным производствам: на магистральном нефтепроводе «Дружба» установлено 1483 ЭП с $P_{cp} = 115,7$ кВт; завод по производству химических волокон имеет около 20000 ЭП с $P_{cp} = 11$ кВт; завод по производству сельскохозяйственных машин имеет 43900 шт., ЭП $P_{cp} = 7,8$ кВт. Для оценки и прогнозирования ЭЭФ современных технологических систем необходимо использовать методы и модели системного анализа. В частности, это могут быть регрессионные модели, связывающие показатели ЭЭФ с влияющими на них факторами [1]. Для диагностирования и прогнозирования ЭЭФ технологических систем, где расход

ТЭР описывается конечной продукцией, а влиянием других факторов на электропотребление можно пренебречь, может использоваться однофакторная модель зависимости общего (удельного) расхода энергоресурса(ов) от объема выпущенной продукции (рис. 1). Для построения такой модели используются суточные, месячные сведения по объемам выпуска продукции и потреблению ТЭР. С использованием модели указанного вида возможно: осуществлять анализ энергоэффективности существующих режимов производства; рассчитывать плановую потребности ТЭР в условиях изменяющейся производственной программы; производить оценку потенциала повышения ЭЭФ за наращивание объемов выпуска продукции; оценивать эффективность внедрения энергосберегающих мероприятий. Диагностирование ЭЭФ с использованием модели вида $W_{уд} = F(\Pi)$ основано на сравнении расположения точки фактического удельного расхода ТЭР на модели по отношению к точкам всего возможного диапазона изменения удельного расхода ТЭР. Например, для пластмассового производства модель удельного расхода ЭЭ представлена на рис. 1, может быть оценено фактическое состояние ЭЭФ.

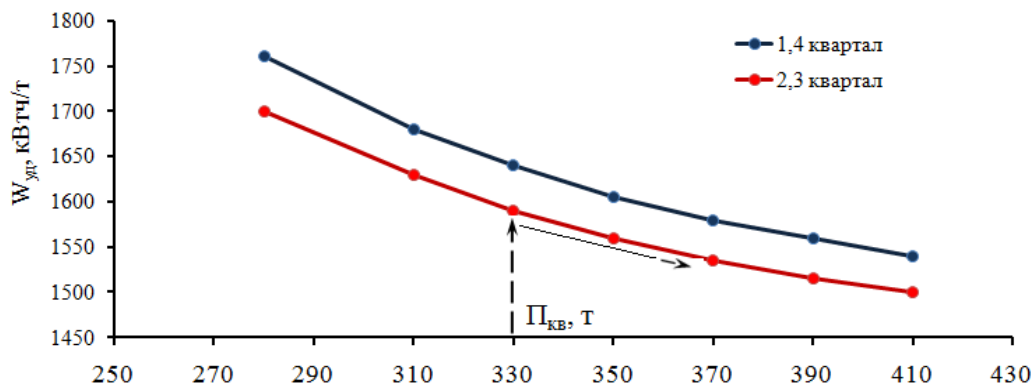


Рис. 1. Однофакторные квартальные модели зависимости $W_{уд} = F(\Pi)$ для пластмассового производства

В условиях, когда предприятие во втором квартале выпустило 330 т пластмассовых изделий, фактический удельный расход ЭЭ составил $W_{уд} = 1590$ кВт · ч/т.

Достигнутое значение $W_{уд}$ ниже $W_{уд}$ зимнего периода на 3,7 %. Потенциал повышения ЭЭФ от достигнутого значения при наращивании объемов выпуска продукции составит:

$$(W_{уд, \Pi = 410} - W_{уд, \Pi = 330}) / W_{уд, \Pi = 330} \cdot 100 \% = (1500 - 1590) / 1590 \cdot 100 \% = -5,7 \%$$

Анализ статистических данных по другим предприятиям показал, что потенциал повышения ЭЭФ в условиях низкой и средней загрузки производства может достигать десятков процентов, что определяется высокой долей условно-постоянной составляющей расхода ТЭР в общем его расходе и достаточно широким диапазоном изменения объемов выпуска продукции (таблица).

**Оценка потенциала повышения ЭЭФ некоторых производств
от минимального объема выпуска продукции**

Наименование производства	Единица измерения	Модель	Диапазон изменения объемов продукции, $\Delta П$, %	Регулирующая способность по ЭЭФ, %
Производство карбамид	т	Среднегодовая модель ТЭ: $W_{уд} = 674 + 11434,8 / П$	52,41	-0,6
Производство жидких азотных удобрений	т	Среднегодовая модель ЭЭ $W_{уд} = 73,81 + 29459,7 / П$	356,6	-30,1
Производство жидких азотных удобрений	т	Среднегодовая модель ТЭ $W_{уд} = 101,2 + 87581,1 / П$	356,6	-45
Производство метанола	т	Среднегодовая модель ЭЭ $W_{уд} = 187,2 + 388930,3 / П$	126,1	-52,1
Производство метанола	т	Среднегодовая ТЭ $W_{уд} = 101,2 + 87581,1 / П$	126,1	-45,7
Производство листового стекла	т	Среднегодовая модель по газу $W_{уд} = 0,023 + 106,2 / П$	11,4	-9,1
Производство шин	усл. ед.	Среднемесячная модель ТЭ $W_{уд} = 12 + 7503943 / П$	133,3	-22,8
Производство шин	усл. ед.	Среднемесячная модель ЭЭ $W_{уд} = 5,9 + 3869630 / П$	133,3	-29,8
Производство швейных изделий	усл. ед.	Квартальная модель удельного расхода ЭЭ $W_{уд} = 0,445 + 37,2 / П$	100	-33,8

Л и т е р а т у р а

1. Развитие методического обеспечения для диагностирования энергетической эффективности / Н. В. Грунтович [и др.] // Энергия и Менеджмент. – 2017. – № 1 (94). – С. 8–13.

УДК 621.745

ЧУГУН ИЗ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ВАГРАНОК

Л. Е. Ровин¹, В. А. Жаранов¹, С. Л. Ровин²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Технолит», г. Минск, Республика Беларусь

Современные минераловатные вагранки закрытого типа являются наиболее распространенными агрегатами в промышленности строительных материалов. К числу их достоинств относятся: высокая удельная производительность по расплаву – до 150 т/м² сутки; тепловой КПД – до 60–70 %; низкий уровень удельных эксплуатационных затрат, высокие экологические характеристики; компьютерное управление.

Продукцией вагранок является минеральный расплав, который с помощью центрифуг, установленных на сливе расплава, превращается в тонкие шлаковые волокна. Далее волокна формируются в теплоизоляционную вату. По своим характе-

ристикам минераловатные материалы превосходят любые другие строительные теплоизоляционные материалы.

Конструктивно вагранки на ОАО «Гомельстройматериалы» представляют собой закрытый шахтный плавильный агрегат противоточного типа непрерывного действия, производительностью 9,5–10,5 т/ч шлакового расплава, работающий на коксе. Кусковая шихта, медленно опускаясь, омывается восходящим потоком раскаленных газов и нагревается до получения расплава. Температура расплава – 1420–1450 °С. Отходящие газы подвергаются глубокой очистке и дожиганию, а затем используются для подогрева дутья.

Сырьем для производства минеральной ваты являются горные породы базальтовой группы, осадочные породы типа доломитов и техногенные отходы, например, металлургические шлаки. Примерный состав шихты: шлак доменного производства – 600 кг; базальт – 150 кг и 125 кг кокса. Негативным фактором является наличие в составе практически всех горных пород оксидов железа. Шлак содержит до 2 % Fe в составе минералов, а также включения – корольки сплавов железа – 1–3 %.

Оксиды железа при плавке восстанавливаются. Количество металла, образующегося в смену, зависит от качества сырья (в основном – шлака) и может составить 600–1800 кг. Металл, образующийся в вагранке, имеет состав, близкий к низкоуглеродистому чугуна. По результатам анализов на спектрографе и аналитической лаборатории образцы имели соответственно: С – 2,4–3,2 %; Si – 0,4–1,3 %; Mn – 0,5–1,25 %; S – 0,4–0,9 %, а также примеси Mo 1,4–2,1 %; Ni – до 0,5 %; Cr – до 0,3 % и др.

Капли металла (чугуна) при сливе попадают в минеральный расплав. Наличие капель чугуна приводит к быстрому безвозвратному выходу из строя технологической оснастки, снижает технико-экономические показатели работы всей линии производства минераловатных изделий и самое главное – снижает качество самих изделий. В связи с этим периодически из вагранки производится сброс накопленного металла вместе с минеральным расплавом. Разделить эти материалы после затвердевания очень сложно, поэтому они вывозятся в отвал. Потери очевидны.

Единственным способом ликвидировать потери металла и минерального продукта является периодический слив металла из вагранки по мере накопления и главное – отдельно с минеральным расплавом. Этот металл может накапливаться и отделяться от шлакового расплава в горне вагранки при соответствующем профилировании этой части вагранки.

Для отдельного и безопасного слива металла и минерального расплава в этом случае необходима специальная установка. После ряда натурных и компьютерных исследований и конструкторских проработок задача была успешно решена (рис. 1).

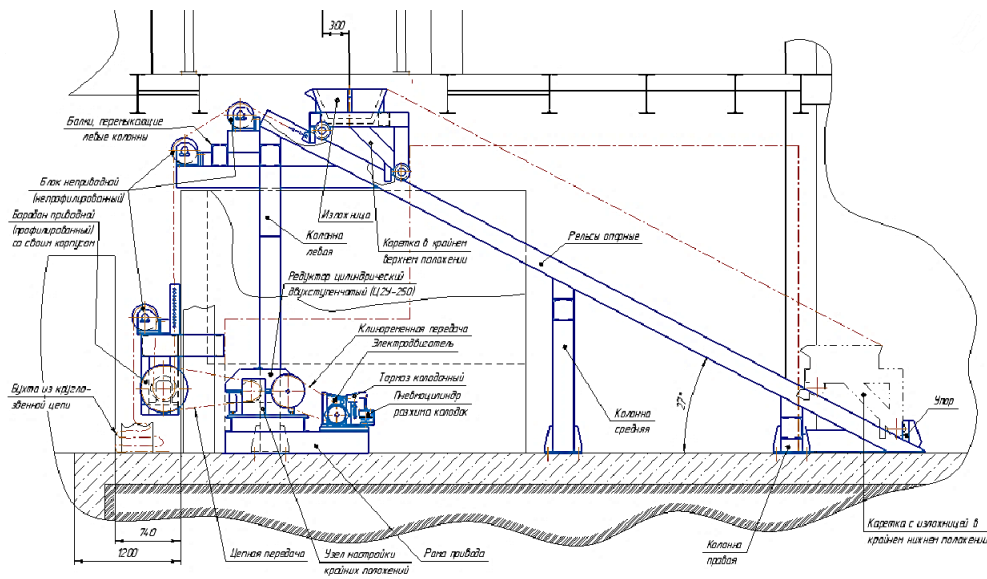


Рис. 1. Схема установки слива металла из минераловатных вагранок

В работе были исследованы вопросы получения слитков оптимальной геометрии и распределение температурных полей в изложницах различной конструкции, а также промоделированы тепловые процессы при кристаллизации слитков в изложницах различной конструкции с изменяемой толщиной защитного покрытия (рис. 2).

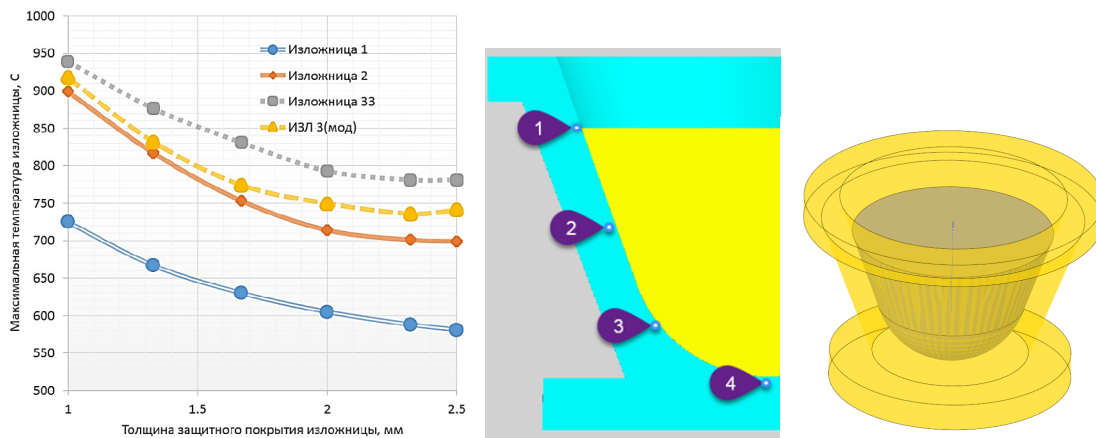


Рис. 2. Изменение максимальной температуры стенки изложницы в зависимости от толщины защитного покрытия и типа слитка

Внедренные технология и оборудование показали свою эффективность, безопасность и надежность в эксплуатации.

Результатом внедрения технологии слива является получение 1800–2000 т/г качественного шихтового материала, пригодного для применения в литейном и металлургическом производствах. Годовой экономический эффект не менее 1,5 млн бел. р. Полная окупаемость проекта составляет не более 3 месяцев.

Использование при плавке данного металла решает задачу импортозамещения, поскольку практически 100 % чугуна, применяемого на отечественных предприятиях, является импортируемым.

УДК 658.261:621.56

ТРИГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА

А. В. Овсянник

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

В настоящее время все больше и больше уделяется внимания поиску как можно более эффективных и безопасных рабочих тел для энергетических установок прямого и обратного циклов. Одними из таких рабочих тел являются природные хладагенты и, в частности, диоксид углерода.

Точка зрения о вреде фреонов и пользе натуральных хладагентов ныне является доминирующей как в Европейском союзе (ЕС), так и в мире. Соответствующие законы в ЕС уже приняты и исполняются; все крупные европейские компании уже давно «вписали» холодильные системы на CO_2 в свои технические задания и проектные решения, а сейчас, спустя несколько лет после первых успешных внедрений таких установок, в крупных компаниях идет тиражирование ранее отработанных решений.

Можно определенно надеяться, что системы на CO_2 по мере роста их числа и вывода из оборота фреоновых компонентов станут дешевле фреоновых аналогов и, что не менее важно, станут экологически более привлекательными и безопасными [3].

Основными преимуществами применения CO_2 в холодильной технике в сравнении с ГФУ-хладагентами является их эффективность, безопасность, экологичность и низкая стоимость, а также соответствие самым последним тенденциям в законодательстве [2].

Говоря о преимуществах CO_2 , важно отметить, что этот хладагент также имеет ряд особенностей. В отличие от традиционных хладагентов CO_2 , помимо более высокой области рабочих давлений имеет высокую тройную и низкую критическую точки. Тройную точку CO_2 ($-56,6$ °C; 5,2 бар), на практике связанную с выпадением «сухого льда», следует учитывать при установке и обслуживании системы. Учет критической точки CO_2 ($+31,1$ °C; 73,6 бар) важен как при обслуживании, так и при проектировании систем на диоксиде углерода.

Диоксид углерода может быть также использован как самостоятельный хладагент. Компрессорно-конденсаторные агрегаты в этом случае работают с большей эффективностью, чем агрегаты на фреонах, в холодном и умеренном климате. Все три варианта, т. е. системы непосредственного охлаждения на углеводородах, системы с промежуточным хладоносителем и пароконденсационные системы на CO_2 технически осуществимы, что подтверждается успешной их реализацией в промышленности [2], [3].

При применении CO_2 как хладагента для небольших систем непосредственного охлаждения годовое энергопотребление в умеренном климате обычно меньше, чем при использовании фреонов (ГФУ) [3]. Преимущества CO_2 перед ГФУ-хладагентами, такие, как эффективность, безопасность, экологичность, низкая стоимость и соответствие самым последним тенденциям в законодательстве, рассмотрены в [2].

На основании рассмотренных энергетических, технических и экологических предпосылок использования CO_2 в энергетических установках для получения тепловой энергии и холода предлагается использование диоксида углерода для получения электрической и тепловой энергии и холода в детандерном цикле. Отличительной особенностью такой установки является то, что используется только один хладагент – CO_2 .

Схема когенерационной установки на диоксиде углерода с производством жидкой и газообразной углекислоты представлена на рис. 1.

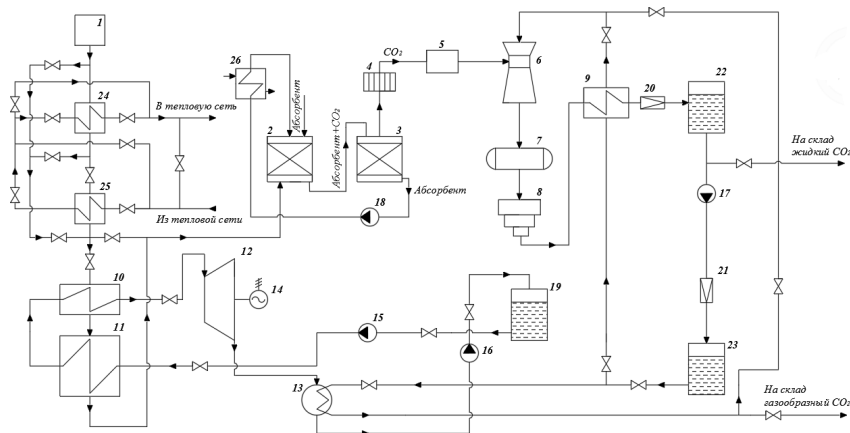


Рис. 1. Схема детандерной установки с производством жидкой и газообразной углекислоты:

- 1 – источник продуктов сгорания; 2 – абсорбер; 3 – десорбер;
 4 – брызгоотделитель; 5 – осушитель; 6 – инжектор; 7 – ресивер;
 8 – компрессор; 9 – конденсатор; 10 – перегреватель; 11 – испаритель;
 12 – паровая турбина; 13 – конденсатор; 14 – электрогенератор;
 15, 16, 17, 18 – насос; 19 – сборник; 20, 21 – регулирующий вентиль;
 22 – сепаратор 1; 23 – сепаратор 2; 24, 25, 26 – теплообменник

Совершенствование и повышение энергетической эффективности теплоэнергостановок связано с разработкой и внедрением парогазовых установок (ПГУ) утилизационного типа. При этом, в частности, достигается высокое значение КПД по отпуску электрической энергии. Кроме того, дополнительными преимуществами ПГУ с котлами-утилизаторами являются низкий уровень выбросов NO_x в атмосферу и малая потребность установки в охлаждающей воде [4].

Одним из основных направлений совершенствования парогазовых энергоустановок является внедрение промежуточного перегрева пара (газа), частично отработавшего в турбодетандере. Это позволяет повысить КПД турбодетандера за счет подвода к газу дополнительного количества теплоты, в результате чего возрастает полезный теплоперепад в турбодетандере. Это приводит к увеличению электрической мощности турбодетандерной установки и увеличению отпуска электрической энергии. Кроме того, увеличивается степень сухости газообразного диоксида углерода на лопатках последней ступени турбодетандера, что повышает надежность и долговечность работы его лопаток.

Необходимо отметить еще одно положительное обстоятельство работы ПГУ с котлом-утилизатором. Использование в турбодетандерных установках в качестве рабочего тела диоксида углерода позволяет проводить процессы парообразования и перегрева при более низких температурах газа после газовой турбины (не выше $250\text{ }^\circ\text{C}$), что значительно снижает температурные напряжения в лопаточном аппарате турбодетандера и повышает надежность и долговечность его работы. Кроме того, снижение температуры газов после газовой турбины приводит к увеличению полезного теплоперепада в ГТУ. При этом увеличиваются ее электрическая мощность и отпускаемая электрическая энергия газотурбинной установки.

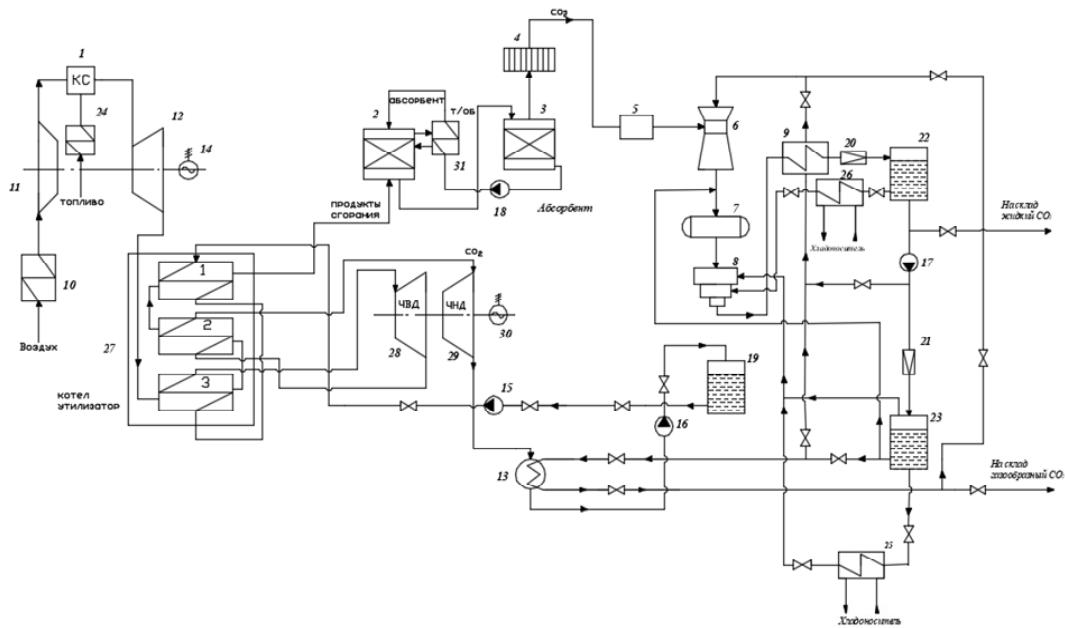


Рис. 2. ПГУ с котлом утилизатором на диоксиде углерода с промежуточным перегревом:

- 1 – камера сгорания; 2 – абсорбер; 3 – десорбер; 4 – брызгоотделитель;
 5 – осушитель; 6 – инжектор; 7 – ресивер; 8 – компрессор; 9 – конденсатор;
 10 – теплообменник; 11 – турбокомпрессор; 12 – газовая турбина;
 13 – конденсатор; 14 – электрогенератор; 15, 16, 17, 18 – насосы; 19 – сборник;
 20, 21 – регулирующий вентиль; 22 – сепаратор 1; 23 – сепаратор 2;
 24 – теплообменник; 25, 26 – испарители; 27 – котел утилизатор;
 28 – ЧВД турбодетандера; 29 – ЧНД турбодетандера; 30 – электрогенератор;
 31 – теплообменник

Получение холода в установке (тригенерация энергии) осуществляется в испарителях 25 и 26 (рис. 2) и в испарителях, устанавливаемых после дросселей 20 и 21 (рис. 1). Это приводит к повышению энергетической эффективности установки. Холод может использоваться в системах кондиционирования воздуха и в системах хранения продукции при пониженных температурах.

Л и т е р а т у р а

1. Клименко, А. В. Возможность применения холода и дополнительной электроэнергии на тепловой электростанции / А. В. Клименко, В. С. Агабабов, П. Н. Борисова // Теплоэнергетика. – 2017. – № 6. – С. 30–37.
2. Преимущества CO₂ в холодильной технике / По материалам JARN // Холодильная техника. – 2016. – № 3. – С. 25.
3. Современные альтернативные хладагенты на длительную перспективу и их возможные области применения / По материалам JARN // Холодильная техника. – 2016. – № 6. – С. 4–9.
4. Кудинов, А. А. Двукратный промежуточный перегрев водяного пара в зоне высоких температур и в хвостовой части трехконтурного котла утилизатора / А. А. Кудинов, К. Р. Хусаинов // Пром. энергетика. – 2018. – № 2. – С. 21–27.

УДК 621

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОЙ ЧАСТИ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО ПРИНЦИПУ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ

В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, В. В. Годарев

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

Тяговые электродвигатели представляют один из наиболее ответственных видов тягового оборудования в конструкции любого электровоза или электропоезда. Большую часть отказов электрического оборудования подвижного состава составляют отказы тяговых электрических двигателей. Для двигателей требуются точные методы проверки состояния, так как при отказе любого из тяговых двигателей наступает отказ тепловоза [1], [2], [5].

В последнее время наблюдается рост мировых цен на энергоресурсы, поэтому одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира является энергосбережение, в том числе и при проведении испытаний двигателей. Таким образом, разработка высокопроизводительных и экономичных систем привода является приоритетным направлением развития современных испытательных стендов. Испытательный стенд представляет собой конструктивное единство электромеханического преобразователя энергии, силового преобразователя и устройства управления [3], [4].

Техническая сложность проведения любого вида испытаний современных тяговых электродвигателей связана с их значительной мощностью. Поэтому для таких машин (средней и большой мощности) был разработан особый метод нагружения и экономичного питания, получивший название метода взаимного нагружения [2], [5], [6], [7]. В настоящее время этот метод является общепризнанным и наиболее распространенным на предприятиях железнодорожного транспорта, связанных с изготовлением или ремонтом тяговых электрических машин локомотивов.

Целью работы является создание имитационной модели силовой части станции испытания тяговых электродвигателей постоянного тока, применяемой для проведения лабораторных работ в УО «БелГУТ» (г. Гомель).

Наибольшее распространение на станциях для испытания тяговых электромашин получила схема взаимной нагрузки с использованием так называемых вольтдобавочной машины и линейного генератора. Особенность схемы с использованием вращающихся преобразователей заключается в том, что в качестве вольтдобавочной машины и линейного генератора, как правило, применяются однотипные электромашины, номинальные мощности которых значительно превышают необходимые для испытания. С одной стороны, это снижает энергетическую эффективность испытаний, с другой стороны – дает очень большой запас по перегрузочной способности источников питания [2], [5].

Испытания, проводимые в УО «БелГУТ», проводят с использованием тяговых электродвигателей ЭД-107. Стенд позволяет имитировать режимы работы, соответствующие режимам его использования на тепловозах ТЭМ2.

Упрощенная принципиальная электрическая схема силовой части испытательного стенда представлена на рис. 1.

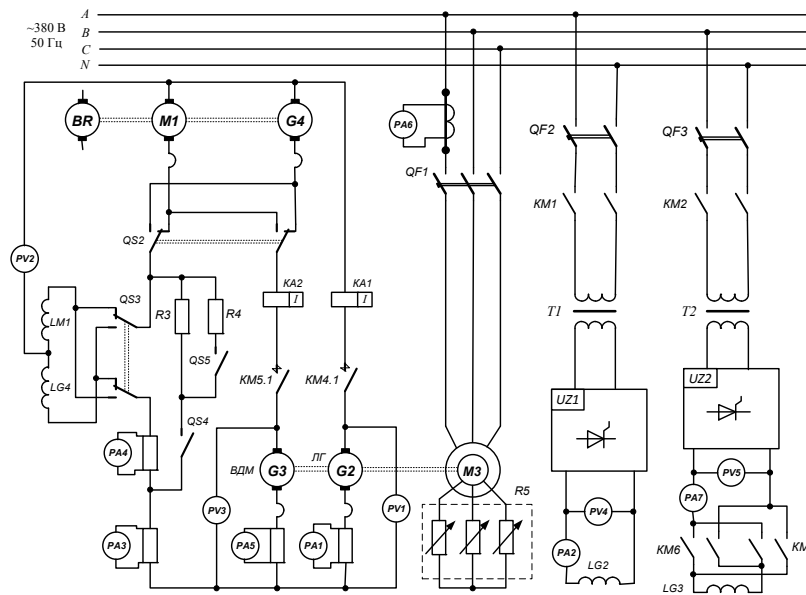


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема силовой части стенда испытания тяговых двигателей по принципу взаимной нагрузки:
 M1 – тяговый двигатель постоянного тока; G2 – линейный генератор;
 G3 – вольтодобавочная машина; G4 – тяговый двигатель постоянного тока, работающий в генераторном режиме; M3 – асинхронный двигатель с фазным ротором; BR – тахогенератор; UZ1 – ведомый сетью однофазный тиристорный преобразователь; UZ2 – ведомый сетью однофазный тиристорный преобразователь

Имитационная модель силовой части стенда была разработана в графической среде имитационного моделирования Matlab Simulink и имеет вид, представленный на рис. 2.

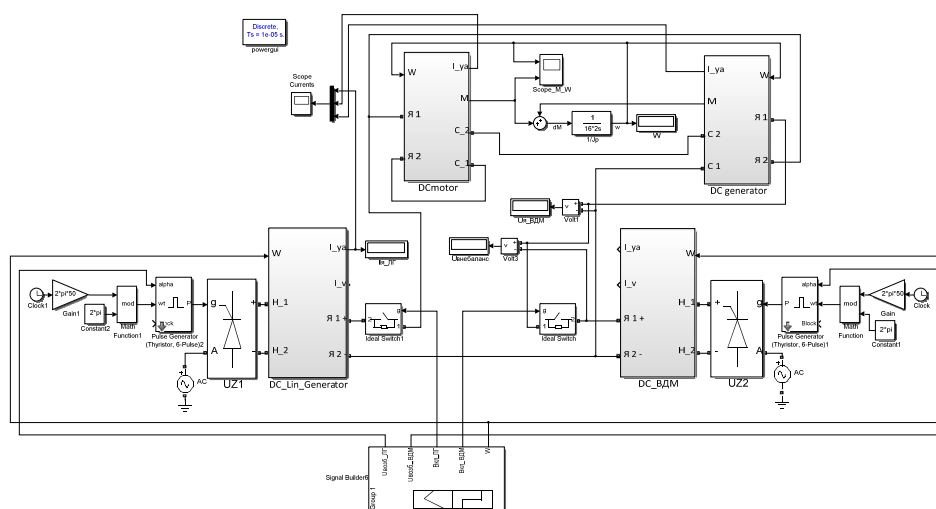


Рис. 2. Схема имитационной модели силовой части стенда

Имитационная модель была составлена с учетом следующих особенностей:

- обмотки возбуждения и обмотки якоря используемых электродвигателей представлены RL -ветвями с соответствующими параметрами;
- модель машины постоянного тока последовательного возбуждения составлена с учетом кривой намагничивания двигателя при изменении тока нагрузки;
- модели машин постоянного тока независимого возбуждения, используемые в качестве линейного генератора и вольтодобавочной машины, составлены при условии постоянства магнитного потока.

При моделировании проведен расчет переходных процессов в силовой части стенда в рабочих и аварийных режимах. На рис. 3 приведены диаграммы процессов при пуске испытуемого тягового двигателя при пониженном напряжении якоря.

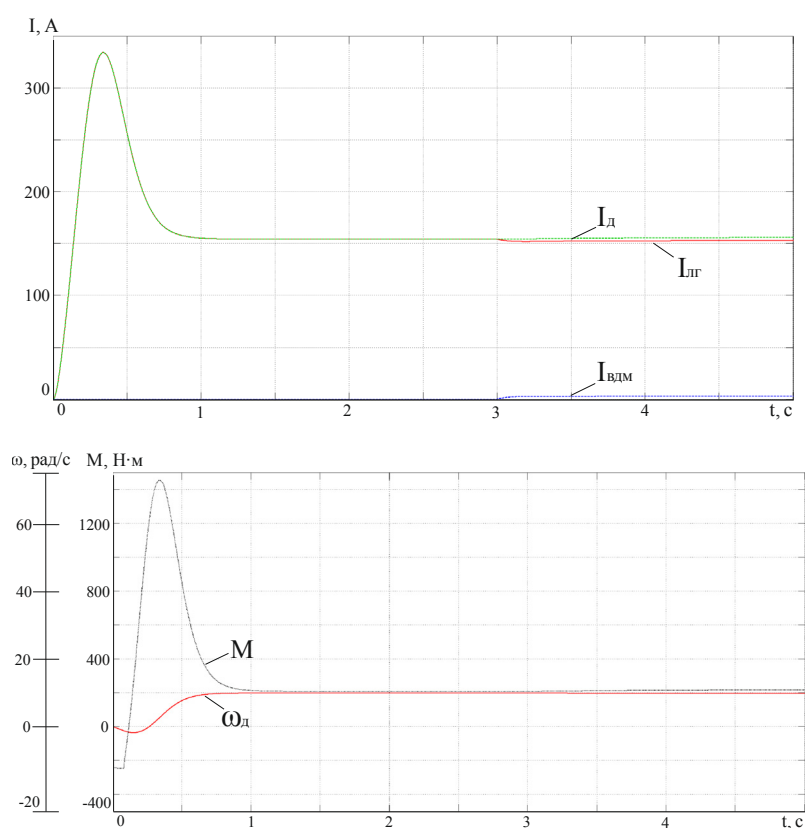


Рис. 3. Диаграммы токов, момента и скорости тягового двигателя при пуске:

I_d – ток якоря испытуемого тягового двигателя; $I_{лг}$ – ток якоря линейного генератора; $I_{вдм}$ – ток якоря вольтодобавочной машины;

M – электромагнитный момент испытуемого тягового двигателя; ω – угловая скорость вращения испытуемого тягового двигателя

Разработанная имитационная модель нагрузочной части испытательного может производить анализ рабочих и аварийных режимов стенда для испытания тяговых электрических двигателей, что позволит определить параметры узлов защиты стенда (величины уставок и интервалы задержки срабатывания). Верификация модели была проведена на стенде для испытания тяговых машин постоянного тока ЭД-107 в указанном вузе в результате моделирования и экспериментальных испытаний.

Созданная модель использовалась при модернизации станции испытания ТЭД в БелГУТе при выполнении договора № 785-15 между данным вузом и ГГТУ им. П. О. Сухого по разработке и поставке системы управления станцией испытания тяговых электродвигателя.

Литература

1. Афанасов, А. М. Моделирование электромеханических процессов в стенде взаимной нагрузки тяговых электромашин // Гірничя електромеханіка та автоматика : наук.-техн. збір. – 2010. – Вип. 84. – С. 210–217.
2. Афанасов, А. М. Теоретический анализ энергетических процессов при взаимной нагрузке тяговых электрических машин постоянного тока / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 25. – С. 258–262.
4. Захаренко, В. С. Современное состояние и перспективы развития инвариантных электромеханических стендов с рекуперацией энергии / В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2007. – № 4. – С. 80–84.
5. Михайлов, И. Ю. Разработка компьютерной модели расчета количественной оценки эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей троллейбуса / И. Ю. Михайлов, О. П. Муравлев, А. Л. Федянин // Изв. Том. политехн. ун-та.– 2014. – Т. 324. № 4. – С. 110–116.
6. Кузнецов, Н. Л. Надежность электрических машин / Н. Л. Кузнецов – М. : Издат. дом МЭИ, 2006. – 432 с.
7. Курбасов, А. С. Проектирование тяговых электродвигателей : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / под ред. А. С. Курбасова. – М. : Транспорт, 1987. – 536 с.
8. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам / под ред. А. И. Тищенко. – М. : Транспорт, 1976. – 432 с.

УДК 621.313.8:631.53.027

ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А. В. Жильцов, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский

*Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины, г. Киев*

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур без применения химических средств является актуальной задачей.

Многими исследователями установлено положительное влияние магнитного поля на семена сельскохозяйственных культур, которое проявляется в улучшении посевных качеств семян, биометрических показателей растений, уменьшении заболеваемости растений, повышении урожайности сельскохозяйственных культур и качества продукции.

Однако отсутствие объяснения действия магнитного поля на процессы, которые происходят в семени, не позволяет установить все действующие факторы при магнитной обработке семян и определить их оптимальные значения.

Цель исследования – установление влияния магнитного поля на семена сельскохозяйственных культур.

Установлено, что магнитное поле влияет на скорость химических и биохимических реакций [1]:

$$\omega_m = \omega \exp(m(K^2 B^2 + 2KBv)N_a / 2RT),$$

где ω – скорость химической реакции без действия магнитного поля, моль/л · с; m – приведенная масса частиц, участвующих в химической реакции, кг; B – магнитная индукция, Тл; v – скорость движения семени, м/с; K – коэффициент, зависящий от концентрации и вида ионов, м/с · Тл; N_a – число Авогадро, молекул/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль · К; T – температура К.

Под действием магнитного поля увеличивается растворимость солей и кислот, находящихся в клетке растения, что приводит к изменению рН и биопотенциала растительной клетки. Также повышается проницаемость клеточных мембран, что ускоряет диффузию через них молекул и ионов [2]. Вследствие этого увеличивается водопоглощение семян. Кроме того, увеличивается скорость диффузии молекул кислорода через клеточную мембрану и его растворимость, вследствие этого подавляется процесс спорообразования фитопатогенных грибов. Под действием силы Лоренца усиливается транспорт ионов, вызывающий увеличение концентрации минеральных элементов, поступивших в клетку [3].

На основании полученных аналитических выражений установлено, что изменение рН, биопотенциала, степени электролитической диссоциации, водопоглощения, концентрации кислорода и ионов в клетке растения зависит от квадрата магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле.

Экспериментальные исследования по определению влияния магнитного поля на посевные качества семян проводили с семенами пшеницы сорта «Наталка», ячменя сорта «Солнцедар», кукурузы сорта «Заря 123», свеклы сорта «Детройт», кабачка сорта «Белоплодный», ржи сорта «Харьковский 98», гороха сорта «Адагумский», фасоли сорта «Грибовский», овса сорта «Деснянский». При исследованиях использовался ортогональный центрально-композиционный план. Значения верхнего, нижнего и основного уровней составляли для магнитной индукции 0; 0,065 и 0,13 Тл; для скорости движения семян – 0,4; 0,6 и 0,8 м/с.

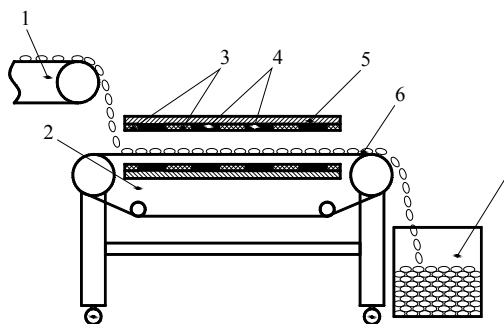
Семена перемещали через магнитное поле, создаваемое четырьмя парами постоянных магнитов, установленных с переменной полярностью. Магнитную индукцию регулировали изменением расстояния между магнитами и измеряли тесламетром 43205/1. Скорость движения транспортной ленты регулировали путем изменения частоты вращения приводного двигателя при помощи преобразователя частоты.

Биопотенциал ростка измеряли иономером И-160М в комплекте с разработанным измерительным электродом в виде платиновой пластины с заостренным концом и вспомогательным хлорсеребряным электродом ЭВЛ-1М. Водопоглощение, энергию прорастания и всхожесть семян определяли по ГОСТ 12038–84.

Установлено, что при изменении магнитной индукции от 0 до 0,065 Тл биопотенциал, водопоглощение, энергия прорастания и всхожесть семян возрастают, а при дальнейшем увеличении магнитной индукции уменьшаются. При магнитной индукции, превышающей 0,15 Тл, их значения изменялись незначительно. Скорость движения семян является менее существенным фактором, чем магнитная индукция.

Наилучшие результаты при предпосевной обработке семян в магнитном поле получены при магнитной индукции 0,065 Тл и скорости движения семян 0,4 м/с и четырехкратном перемагничивании.

Разработанная установка для магнитной обработки семян (рис. 1) состоит из четырех пар магнитов из интерметаллического композита NdFeB, установленных параллельно над и под лентой транспортера с переменной полярностью и транспортера с электроприводом.



а)

б)

Рис. 1. Установка для магнитной обработки семян:

а – общий вид; б – функциональная схема:

1 – загрузочный транспортер; 2 – транспортер установки для предпосевной обработки семян в магнитном поле; 3 – текстолитовые вставки; 4 – постоянные магниты; 5 – стальная плита; 6 – объект обработки; 7 – контейнер

При предпосевной обработке семян в магнитном поле энергия прорастания семян увеличивалась на 26–50 %; всхожесть – на 10–42 %. Водопоглощение семян пшеницы возросло с 9 до 14 %; ячменя – с 10 до 21 %. Урожайность сельскохозяйственных культур в среднем увеличивалась на 20–25 %.

Л и т е р а т у р а

1. Kozyrskiy, V. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development / V. Kozyrskiy, V. Savchenko, O. Sinyavsky. – IGI Global, 2018. – P. 576–620.
2. Козырский, В. В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / В. В. Козырский, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестн. ВИЭСХ. – 2014. – № 2 (15). – С. 16–19.
3. Kozyrsky, V. Effect of magnetic field on ion transport in plant cells / V. Kozyrsky, V. Savchenko, A. Sinyavsky // Research in Agricultural Electric Engineering. – 2014. – V. 2, № 3. – P. 90–94.

УДК 667.6:686.87

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОАО «ГОМЕЛЬДРЕВ»

В. Ю. Орешко, М. С. Артюгин, С. Г. Жуковец

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

Лакокрасочные работы являются неотъемлемой частью технологического процесса производства мебели. Сам процесс покраски – сложная физико-химическая технология, результатом которой является сформированное прочное лакокрасочное покрытие на поверхности крупных щитовых панелей и сопутствующих им элементов декора производимой мебели.

Разнообразие конструктивных форм изделий, применяемых в деревообработке, вынуждает дифференцированно подходить к выбору технологического процесса получения покрытий с учетом конструкции изделий, их габаритов, материала.

В практике окрасочных работ применяют ручные и автоматические краскораспылители. Последние имеют дистанционное управление; их применяют исключительно при поточных методах окраски. Типы и конструкции современных краскораспылителей весьма разнообразны, что связано с многообразием лакокрасочных материалов и разными условиями их нанесения.

При выборе поточных линий руководствуются:

- повышением производительности путем использования эффективных средств распыления и зарядки лакокрасочных материалов (ЛКМ);
- обеспечением максимальной безопасности и удобства обслуживания установок;
- снижением трудовых затрат путем механизации и автоматизации технологических операций;
- применением более современных энергоэффективных технологий.

Ранее в производстве мебели на ОАО «Гомельдрев» применялись окрасочные кабины собственного изготовления с двойным контуром водяных завес, недостатками которых являются:

- нерациональное использование энергетических ресурсов на постоянно функционирующем циркуляционном насосе мощностью 3,7 кВт;
- применение фильтрующих элементов;
- особые требования к разрешению на спецводопользование;
- малая механизация труда и, как следствие, низкая производительность труда по сравнению с автоматизированными линиями;
- воздействие вредных производственных факторов на работающих при нанесении лакокрасочных материалов.

Автоматическое нанесение ЛКМ в окрасочных камерах полностью изолирует процесс окрашивания от окружающей среды и человека. В них создается отдельный микроклимат (давление, температура, регулирование поступающего и уходящего воздуха и т. д.). Благодаря этому, достигается получение высокого качества окрасочных работ при минимальных затратах времени, лакокрасочных материалов и энергоресурсов.

Образование аэрозолей при гидравлическом способе нанесения ЛКМ происходит в результате большой скорости их истечения из насадок за счет перепада давления. Потери лакокрасочных материалов в данном способе сведены к минимуму, что способствовало его широкому распространению в промышленности.

Электростатический метод окраски заключается в использовании электромагнитного поля земли. Перед распылением краске придается мощный отрицательный заряд, а окрашиваемая конструкция заземляется. Статический заряд уходит в землю, так как его потенциал выше. При этом заряд уходит, а краска остается на конструкции и распределяется по электромагнитным линиям равномерно со всех сторон. Получается ровный слой краски на поверхности окрашиваемого объекта, причем практически без потерь (коэффициент переноса краски доходит до 98 %). Данный метод позволяет: улучшить качество распыления; уменьшить количество вредных выбросов; получить отличное качество покрытия; обеспечить равномерность покрытия и его толщину, отличное обволакивание; уменьшить время покраски.

При покраске деталь не нужно вращать, краска сама ляжет ровным слоем даже с обратной стороны детали, малярю не заметной.

Для перемещения автоматических краскораспылителей применяют механизмы преимущественно с цепной передачей, снабженные пневмо-, гидро- или электроприводом. Они подразделяются на роботы (обычные и универсальные) и манипуляторы и имеют различное число степеней свободы при движении. Наиболее совершенный тип механизма – универсальный робот, имеющий электронную схему и работающий по заданной программе. Механическая рука робота, на которой укреплен краскораспылитель, выполняет самые разные движения и точно копирует движения оператора, а запоминающее устройство записывает их на ленту. Максимальная скорость движения руки – 1,7 м/с; она может изменяться в пределах 30 % в зависимости от скорости движения конвейера. Универсальные роботы позволяют исключить участие человека в окрасочном процессе.

Автоматические краскораспылители включаются в работу тогда, когда окрашиваемый объект попадает в зону распыления ЛКМ, и выключаются, как только факел распыленного лакокрасочного материала выходит за пределы этого объекта. С этой целью на воздушной магистрали, служащей для подачи сжатого воздуха к краскораспылителю, устанавливается электромагнитный клапан, который при поступлении сигнала приводит в действие исполнительный механизм включения краскораспылителя и его перемещение.

Исходя из требований технологического процесса к производительности оборудования и классу точности выполнения технологических операций, выбираем оборудование для автоматического нанесения ЛКМ на детали из древесины и металлическую фурнитуру – автомат окраски распылением CeflaPrima.

CeflaPrima предназначен для высококачественного нанесения ЛКМ на основе растворителя или воды методом распыления на поверхность и кромки элементов мебели, плоские и рельефные панели, в проходном режиме. Автомат ориентирован на средние предприятия, которые ставят целью повышение качества финишной обработки и минимизацию человеческого фактора в работе. Существует возможность применения электростатического способа нанесения лакокрасочных материалов. Окрасочные работы могут выполняться по сложной программе нанесения лакокрасочных материалов в разных плоскостях с применением различных карт окраски.

После предварительной подготовки и очистки деталь автоматически подается в покрасочную камеру станка, внутри которой нанесение ЛКМ производится методом распыления воздушными либо безвоздушными пистолетами, установленными на каретке с поперечным движением. Суппорт («каретка») с пистолетами, установленными в крайних точках, движется поперек движения заготовки, пистолеты включаются в момент прохождения детали и окрашивают ее верхнюю часть и все кромки. Размеры и положение детали считываются специальным датчиком на входе станка, далее пистолеты в автоматическом режиме окрашивают ту область, где находится деталь, экономя, таким образом, значительное количество краски. Скорость подачи, скорость движения каретки, точные настройки пистолетов задаются с панели управления.

Внедрение автомата окраски распылением CeflaPrima обеспечивает годовую экономию электроэнергии в размере 69776,6 кВт · ч/год (213,5 т у. т./год); годовую экономию текущих затрат – 88111,02 р./год при сроке окупаемости 2,3 года.

УДК 621.565.9:637.5

ПРИМЕНЕНИЕ КАМЕР ИНТЕНСИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ «МАУТИНГ» В КОЛБАСНОМ ЦЕХЕ ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ МЯСОКОМБИНАТ»

А. М. Шепелевич, С. А. Савицкая, О. С. Шведова

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

Для охлаждения колбасных изделий после термообработки на ОАО «Гомельский мясокомбинат» в настоящее время используется фреоновое холодильное оборудование.

Использование камер интенсивного охлаждения «Маутинг» позволит улучшить качество продукции и уменьшить затраты на электроэнергию.

Технические характеристики камер:

- температурный диапазон охлаждения душированием с интенсивной циркуляцией потоков воздуха: 12–20 °С;
- температурный диапазон охлаждения комбинированным способом душированием и циркуляции воздуха: 5–20 °С;
- температурный диапазон охлаждения с помощью потока воздуха: 0–5 °С;
- мощность охлаждения на 1 тележку: 17,5 кВт;
- тип хладагента: аммиак NH₃; фреон R22, R404; гликоль; кулстар.

Камеры «Маутинг» используют аэродинамически проверенную систему обеспечения движения воздуха с поддержанием однородного распространения параметров «температура/влажность» во всем объеме. Кривая охлаждения изделий приведена на рис. 1.

Кривая охлаждения изделий в холодильной камере МАУТИНГ

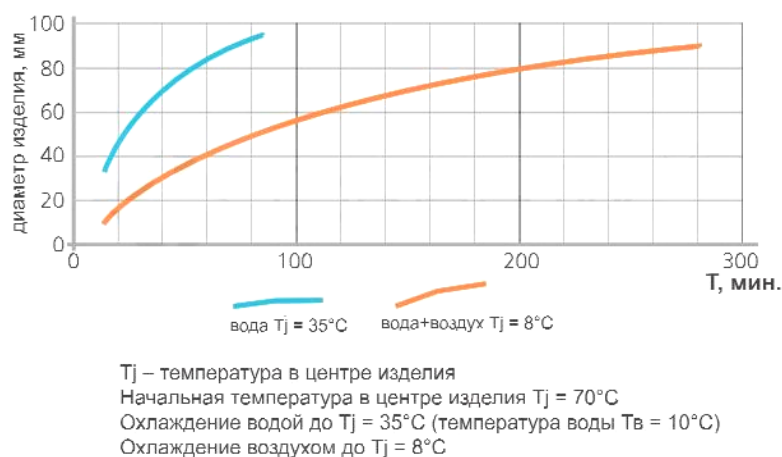


Рис. 1. Кривая охлаждения изделий

Управление движением воздуха ведется электронно на базе частотного преобразователя и воздушных заслонок, камеры оснащены сверхмощными вентиляторами на каждую раму (значение скорости: 1450/2850 об./мин); скорость воздушного потока на одну раму составляет 5544 м³/ч.

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 249

В качестве оборудования для мясокомбината камера обеспечивает скоростной переход через критически важный температурный диапазон: от +40 °С до +15 °С, чем минимизирует вероятный рост микроорганизмов.

В работе хладокамеры используется несколько удобных автоматизированных технологических режимов со снижением температуры в ядре продукта от +80 °С до +30 °С, а затем до +8 °С.

Рабочей средой является вода, хладагент и воздух.

Воздушное охлаждение камер позволяет равномерно распределить температуру, а встроенный контроль системы увлажнения предохраняет деформацию оболочек колбас в процессе охлаждения.

Готовый продукт выходит из камеры быстрого охлаждения сухим и охлажденным, позволяя перейти сразу на упаковку.

С целью экономии электроэнергии в данной работе предлагается выполнить замену комплекта фреонового холодильного оборудования колбасного цеха на камеры интенсивного охлаждения «Маутинг». Исходные данные и определение экономического эффекта от замены оборудования приведены в таблице.

Исходные данные и определение эффекта

Наименование показателей	Единица измерения	Значения	
		Фреоновое холодильное оборудование	Камера интенсивного охлаждения
Количество	шт.	1	1
Установленная мощность	кВт	91,1	21,5
Расход электроэнергии на охлаждение и хранение	тыс. кВт · ч	655,92	188,34
Экономия электроэнергии	тыс. кВт · ч		467,6
	т у. т.		121,6
	р.		52689
Стоимость оборудования	р.		120716
Затраты с учетом СМР	р.		156930,8
Срок окупаемости	лет		3,0

Таким образом, данное мероприятие по замене комплекта фреонового холодильного оборудования колбасного цеха на камеры интенсивного охлаждения «Маутинг» является эффективным и экономически обоснованным.

УДК 66.042.882:631.227

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТЫХ РЕКУПЕРАТОРОВ ТЕПЛА В ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫХ УСТАНОВКАХ ПТИЧНИКОВ РУП «БЕЛОРУСНЕФТЬ-ОСОБИНО»

В. А. Клещев, С. И. Бахур, В. В. Бахмутская

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

Установка рекуператоров тепла позволяет значительно снизить затраты тепловой энергии на подогрев воздуха в помещениях за счет использования тепла уходящего воздуха. В данной работе для подогрева приточного воздуха уходящим в птичниках РУП «Белоруснефть-Особино» предлагается использование пластинчатых рекуператоров, обладающих достаточно высокой эффективностью и исключающих подмес уходящего воздуха в свежий.

В установке с пластинчатым рекуператором два потока воздуха, приточный и вытяжной, полностью разделены (рис. 1). Такая система применима при непосредственной компоновке приточной и вытяжной установки. В системе конструктивно предусмотрены меры против их обмерзания. Эффективность такого варианта составляет 50–70 %.

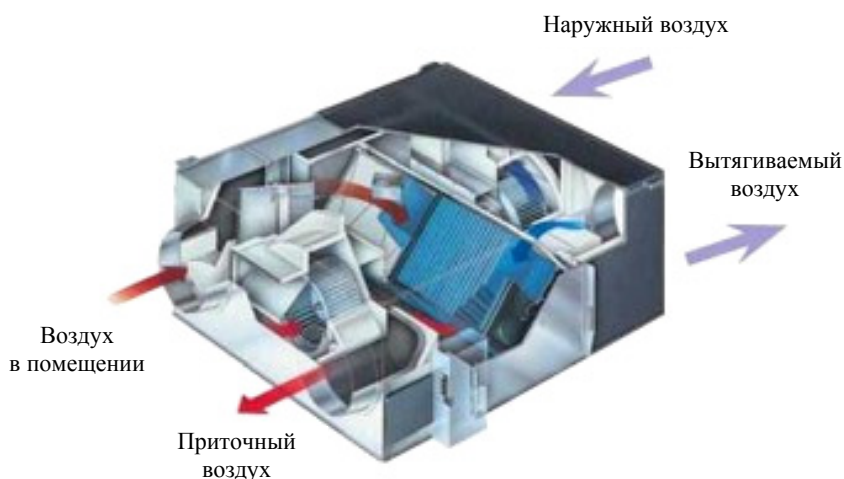


Рис. 1. Пластинчатый рекуператор

Пластинчатые рекуператоры обладают следующими преимуществами:

- пластинчатый теплообменник в данном виде рекуператоров устроен просто и не имеет подвижных или трущихся частей, что подразумевает собой нечастое техническое обслуживание;

- в данном рекуператоре отсутствуют какие-либо потребители электроэнергии, что снижает стоимость расходов на работу данного устройства;

- отсутствует смешение удаляемого и подаваемого воздуха.

К недостаткам пластинчатых рекуператоров можно отнести:

- необходимость пересечения потоков приточного и вытяжного воздуха диктуется необходимостью пересечения воздухопроводов в рекуператоре, что не всегда удобно и реализуемо;

– в зимний период пластинчатый теплообменник может обмерзнуть и для решения этой проблемы необходимо либо периодически отключать приточный вентилятор, либо использовать байпасный клапан;

– данные рекуператоры способны только к теплообмену. Влагообмен в данном виде рекуператоров – редкость.

При выращивании птицы в зависимости от ее возраста температура изменяется, поэтому примем среднюю температуру удаляемого из птичника воздуха – 23 °С.

Пластинчатые рекуператоры рекомендуется внедрить на птичниках № 5, 6, 7, 8, 8а, 8б с клеточным содержанием птицы. Среднее количество птицы по птичникам составляет 73000 шт., при этом средний расход воздуха составит 50338 м³/ч.

К установке предлагаются пластинчатые рекуператоры фирмы Korf производства ООО «НеоКонд», Республика Беларусь.

Исходя из максимального расхода воздуха, к установке примем 4 рекуператора PR 100–50 на 28 000 м³/ч.

Схема подключения рекуператора в приточно-вытяжной установке приведена на рис. 2.

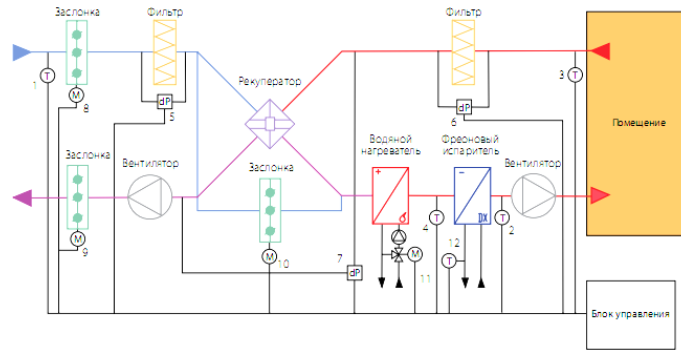


Рис. 2. Схема подключения рекуператора в приточно-вытяжной установке

Количество теплоты, идущее на нагрев приточного воздуха уходящим, Гкал:

$$Q_{\text{Год}} = V_{\text{СР}} C_{\text{ВОЗД}} (t_{\text{СР}} - t_{\text{СР.ОТ}}) \cdot \rho \cdot T_{\text{РАБ}} \cdot \eta \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где $V_{\text{СР}}$ – средний расход воздуха, м³/ч; $C_{\text{ВОЗД}}$ – теплоемкость воздуха, ккал/кг·°С; ρ – плотность воздуха при расчетной температуре, м²/кг; $T_{\text{РАБ}}$ – годовое время работы, ч; η – эффективность рекуператора (для пластинчатых рекуператоров $\eta = 0,65$).

Отсюда

$$Q_{\text{Год}} = 50338 \cdot 0,24 \cdot (23 - (-1)) \cdot 1,2 \cdot 3505 \cdot 0,65 \cdot 10^{-6} = 792 \text{ Гкал/год, или } 134,9 \text{ т у. т./год.}$$

Увеличение расхода электрической энергии за счет принудительной вентиляции, кВт·ч:

$$\Delta W_{\text{В}} = N_{\text{В}} \cdot T_{\text{РАБ}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{В}}$ – мощность приточного (вытяжного) вентилятора, кВт.

$$\Delta W_{\text{В}} = 4 \cdot 3,8 \cdot 3505 = 53,3, \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч/год, или } 14,9 \text{ т у. т./год.}$$

Таким образом, изменение расхода условного топлива составляет 120 т у. т./год; экономический эффект – 52920 р.

К установке предлагается 4 моноблока по 2 вентилятора и рекуператора в каждом (плюс вспомогательное оборудование) стоимостью 149763,6 р.

Срок окупаемости данного мероприятия составляет 2,83 года, следовательно, оно является эффективным и экономически обоснованным.

УДК 621.3

КОЭФФИЦИЕНТ ПУЛЬСАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И СПОСОБЫ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Д. П. Феськов, В. Д. Елкин

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

Ответим на вопрос, что такое пульсация.

Пульсация света показывает, насколько колеблется освещенность в результате изменения во времени светового потока источника света при питании его переменным током и выражается формулой [2]:

$$K_{л} = 100 \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{cp}}},$$

где E_{\max} и E_{\min} – максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, люкс; E_{cp} – среднее значение освещенности за этот же период, люкс.

Влияние пульсации света на здоровье человека. Пульсация – это микромерцания ламп искусственного освещения, невидимые для глаза, но отрицательно влияющие на мозг: появляется напряжение в глазах, усталость, трудность сосредоточения на сложной работе, головная боль. Особенно пульсация опасна для детей до 13–14 лет, когда их психика и зрительная система только формируются. Освещение пульсирующим светом опасно при наличии в поле зрения движущихся и вращающихся объектов возникновением стробоскопического эффекта – зрительной иллюзией неподвижности или мнимого движения предмета.

Теперь ответим на вопрос, почему мерцает?

Опасность, которую таит в себе люминесцентная лампа, – это пульсация – невидимые невооруженным глазом мерцания света, которые возникают из-за колебаний в подаваемом напряжении. Коварность пульсации заключается в том, что попадая на сетчатку глаза, она корректируется и воспринимается человеком как ровный свет.

Развитие технологий и ужесточение норм ТКП и СанПиН [1] повлекли за собой появление электронных пускорегулирующих средств (ЭПРА), снижающих пульсацию. Эти устройства сглаживают колебания, но сделать свет максимально постоянным и ровным под силу лишь самым дорогим и качественным ЭПРА, не выдерживающим конкуренции дешевых китайских ламп, которыми перенасыщен рынок. Нормируемые значения коэффициента пульсации для различных характеристик зрительной работы приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Нормируемые значения коэффициента пульсации для различных характеристик зрительной работы

Номер	Тип ИС	Высота подвеса ИС, м		
		3	4,5	6
1	Лампа ДНаТ 400	90	88	86
2	Лампа ДРЛ 250	70	63	53
3	Лампа ДРИ 400	40	37	30
4	Лампа 2 x 36 Вт с ЭМПРА	27	25	23
5	Светодиод	2,2	1,9	1,5
6	Лампа 2 x 58 Вт с ЭПРА	1,2	1,1	1,0
7	СИД 7.5 Вт	4,5	1,8	0,0
8	Лампа ЛН 60 Вт	2,2	1,1	0,0
9	Лампа ЛК 15 Вт	0,5	0,1	0,0

Таблица 2

Значения коэффициентов пульсации различных источников света в зависимости от высоты подвеса

Характеристика зрительной работы	Коэффициент пульсации	Примечания (наименьший или эквивалентный размер объекта различия)
Наивысшей точности	10	менее 0,15 мм
Очень высокой точности	10	от 0,15 до 0,3 мм включительно
Высокой точности	15	от 0,3 до 0,5 мм включительно
Средней точности	20	от 0,5 до 1 мм включительно
Малой точности	20	от 1 до 5 мм включительно
Очень малой точности	20	более 5 мм
Работа со светящимися материалами и изделиями	20	—

Способы снижения коэффициента пульсации:

- подключение светильников на разные фазы трехфазных сетей;
- увеличение высоты подвеса светильника над рабочей поверхностью;
- использование современных электронных балластов и пускорегулирующих аппаратов ЭПРА.

Литература

1. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : учеб. / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. ТКП 45-2.04-153–2009 (02250). Естественное и искусственное освещение. – Минстрой-архитектура, 2010.

УДК 621.311.017

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИБОРЫ УЧЕТА**Н. А. Ечишев, Т. В. Алферова***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Влияние высших гармоник исследовано достаточно полно, и механизм их влияния известен. Потребители, имеющие в своем составе электроприемники, потребляющие несинусоидальный ток, преобразуют часть электроэнергии синусоидального тока в энергию несинусоидального тока и возвращают ее в сеть.

Влияние этого «возврата» различно для разных типов счетчиков. Частотная характеристика индукционных счетчиков такова, что они слабо учитывают энергию на повышенных частотах. Поэтому потребители с несинусоидальными электроприемниками оплачивают полное поступление энергии, а возврат энергии на повышенных частотах счетчиком практически не фиксируется.

Индукционные счетчики обычных потребителей также слабо учитывают энергию, поступающую к ним на повышенных частотах. Часть этой энергии используется полезно – например, для нагревательных установок частота тока не имеет значения. Поэтому можно считать, что такие потребители как бы получают подарок в виде части бесплатной энергии, правда, если не учитывать вред, который наносят высшие гармоники другому оборудованию.

Электронные и цифровые счетчики не имеют такой падающей частотной характеристики, как индукционные счетчики. Поэтому возврат энергии искажающей нагрузкой они тоже учитывают; в результате искажающий потребитель платит меньше, чем при индукционном счетчике, а обычные потребители, имеющие электронные и цифровые счетчики, платят за всю энергию независимо от частоты ее составляющих, т. е. за вредные составляющие наравне с полезными. Количественно погрешности оцениваются величиной около 0,5 % энергии [1].

Основные случаи ухудшения качества электроэнергии даны на рис. 1.

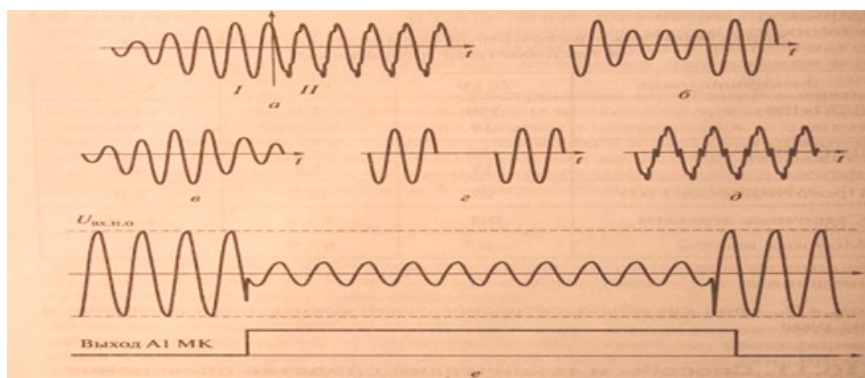


Рис. 1. Основные случаи ухудшения качества электроэнергии: а – переходные процессы (I) и искажение напряжения (II); б – понижение напряжения; в – повышение напряжения; г – перерыв электроснабжения; д – «зазубрины»; е – осциллограммы 74%-го провала контролируемого напряжения $U_{вх.п.о}$ и сигнала на выходе А1 пускового органа контроля и сравнения качества напряжения

Негативное влияние на силовое электрооборудование и измерительные приборы оказывают длительные искажения кривой напряжения, особенно искажения напряжения, имеющие характер «зазубрин», вызванные коммутацией силовых тиристоров и диодов в мощных источниках искажения. Наиболее опасными являются искажения кривой напряжения через ноль. Эти искажения могут вызвать дополнительные коммутации диодов маломощных источников питания, ускорение старения конденсаторов, сбой компьютеров и принтеров и другой аппаратуры.

Проблема качества в отечественных электрических сетях очень специфична. Во всех промышленно развитых странах подключение мощных нелинейных нагрузок, искажающих форму кривых тока и напряжения электрической сети, допускается только при соблюдении требований по обеспечению качества электроэнергии и при наличии соответствующих корректирующих устройств. При этом суммарная мощность вновь вводимой нелинейной нагрузки не должна превышать 3–5 % от мощности всей нагрузки энергокомпании. Иная картина наблюдается в нашей стране, где такие потребители подключаются достаточно хаотично.

Выдача технических условий на присоединение во многом формальна из-за отсутствия четких методик и массовых сертифицированных приборов, фиксирующих «кто виноват». При этом промышленностью практически не выпускались необходимые фильтрокомпенсирующие, симметрирующие, многофункциональные оптимизирующие устройства [2].

Качество электроэнергии во многом зависит от большого количества факторов, которые способны изменить ее параметры сверх заданных границ. Например, напряжение может стать слишком высоким из-за аварийной ситуации на электростанции. Низкие значения могут возникнуть вечером, когда люди включают значительное количество различных бытовых устройств. Значения напряжения при различных ситуациях приведены на рис. 2.

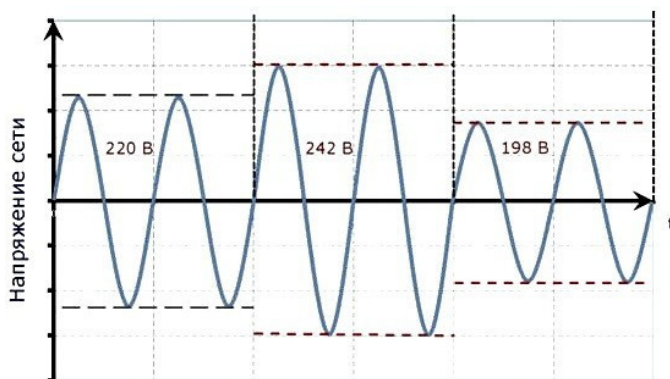


Рис. 2. Значения напряжения сети при различных ситуациях

Согласно нормативным документам допускается некоторое колебание параметров электрической энергии. В некачественных сетях питания приходится использовать специальные устройства, которые доводят параметры электроэнергии до нормативных показателей, – стабилизаторы напряжения. Контролирующим органом над качеством сетей питания является Роспотребнадзор, в который можно подавать претензии при возникновении проблем.

Увеличение качества электрической энергии необходимо выполнять в установленные нормативными документами сроки, а защиту собственного электрооборудо-

вания потребитель может создавать с использованием специальных устройств, способных привести в норму параметры питания:

– стабилизаторы напряжения позволяют поддерживать значение напряжения в заданных пределах и способны обеспечить качество электроэнергии при отклонениях более 35 %;

– устройства защиты от перепадов напряжения действуют по аналогии с работой реле. При чрезмерном увеличении напряжения выполняется обесточивание цепи;

– источники бесперебойного питания (ИБП) поддерживают в рабочем состоянии подключенные устройства в течение заданного периода времени. Снабжение устройств электрической энергией осуществляется с помощью накопленной энергии в аккумуляторной батарее. В аварийных режимах ИБП могут поддерживать работу оборудования небольшого офиса несколько часов [3].

Л и т е р а т у р а

1. Влияние параметров электроэнергии на приборы учета. – 2011. – Режим доступа: <http://electrichelp.ru/vliyanie-parametrov-elektroenergii-na-pribory-ucheta>. – Дата доступа: 16.06.2011.
2. Повышение качества электроэнергии: методы, способы, причины. – 2016. – Режим доступа: <http://pue8.ru/kachestvo-elektroenergii/90-sposoby-i-tehnicheskie-sredstva-povysheniya-kachestva-elektroenergii.html>. – Дата доступа: 17.05.2016.
3. Качество электроэнергии. Показатели и характеристики. Факторы влияния. – 2018. – Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/jelektropitanie/kachestvo-elektroenergii>.

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЙ СПОСОБ ГРОЗОЗАЩИТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 6–35 КВ ОТ ВНЕШНИХ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Д. М. Купцов, Л. И. Евминов

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

При эксплуатации воздушных линий (ВЛ) на изоляцию воздействуют напряжения, значительно превышающие номинальные, – перенапряжения.

Внешние атмосферные перенапряжения вызваны грозовым разрядом вблизи установок или прямых ударов молнии в опору или провод. Данное перенапряжение является одной из главных причин отключения воздушных линий распределительных сетей. На их долю приходится не более 26 % всех повреждений.

Основной причиной аварий и нарушений являются грозовые перенапряжения на распределительных воздушных линиях, которые приводят к разрушению изоляторов и созданию импульсного перекрытия, что приводит к дуговым замыканиям сопровождающих повреждения линий.

По причине грозовых перенапряжений аварийные отключения на воздушных линиях 6–35 кВ составляют до 40 % от общего их числа. Индуктированные перенапряжения при разряде молнии вблизи линии являются основной причиной грозовых отключений. Такие перенапряжения составляют до 90 %, а при прохождении трассы воздушных линий по лесному массиву – до 100 % от их общего количества [1].

Таким образом, надежность электроснабжения потребителей в значительной степени зависит от эффективности грозозащитных мероприятий.

Современное решение проблемы грозозащиты ВЛ 6–35 кВ от внешнего атмосферного перенапряжения – применение длинно-искровых разрядников (РДИ).

Принцип работы разрядника основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника и предотвращение перехода импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты.

Скользкий разряд активен под влиянием приложенного импульсного напряжения вдоль поверхности изоляции петли от металлической трубки к зажиму крепления разрядника, а именно – при воздействии грозового перенапряжения разрядник перекрывается, а изолятор нет. Разряд гаснет после прохождения импульсного тока молнии, не переходя в силовую дугу. Это предотвращает возникновение короткого замыкания, повреждение провода и отключение воздушной линии [2].

Длинно-искровой разрядник устанавливается на всем протяжении ВЛ на подходах к подстанции и кабельным вставкам, что позволяет исключить перекрытие изоляции на линии и свести на нет негативные последствия индуктированных грозовых перенапряжений.

Длинно-искровые разрядники не только предотвращают пережог проводов, что обеспечивает и финская дугозащитная арматура, но и исключают дуговые замыкания и отключения линий, не требуют обслуживания и не находятся под рабочим напряжением.

Не имеют РДИ никаких особых требований по снижению сопротивлений заземления опор, на которых они установлены. Они не подвержены разрушающему воздействию токов молнии и сопровождающих токов дуговых замыканий, защищают от дуговых перенапряжений электрические сети, приводящие к однофазным замыканиям на землю, вызванным грозовыми перенапряжениями.

Разряд в длинно-искровом промежутке развивается вдоль аппарата по воздуху, а не внутри его, что позволяет значительно увеличить срок эксплуатации изделий и повышает их надежность.

Разработанная конструкция узла РДИ обеспечивает удобство его установки как на штырь, так и на крюк изолятора на воздушных линиях с изолированными и неизолированными проводами.

С помощью длинно-искровых разрядников может выполняться грозозащита распределительных воздушных линий как действенная мера повышения надежности электроснабжения.

По своим конструктивно-техническим параметрам РДИ обеспечивают возможность и простоту монтажа на любых типах опор ВЛ и ВЛЗ, эксплуатационную долговечность и отсутствие необходимости их обслуживания [3].

Л и т е р а т у р а

1. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т. Б. Лещинская. – М. : КолосС, 2006. – 368 с.
2. Подпоркин, Г. В. Современная грозозащита распределительных воздушных линий 6, 10 кВ длинно-искровыми разрядниками / Г. В. Подпоркин, А. Д. Сиваев // Электро. – 2006. – № 1. – С. 36–42.
3. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений / Ф. Х. Халилов ; под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджибаева. – СПб. : Энергоатомиздат. С.-Петербург. отд., 2002. – 272 с. : с ил.

УДК 621.314

ВЫБОР СРЕДСТВ ПРИБОРНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ ВКЛАДА УЧАСТНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Е. В. Мазаева, Т. В. Алферова

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

С точки зрения качества электрической энергии (КЭЭ) всех участников системы электроснабжения можно разделить на три условные группы:

- только источники искажений (выпрямительная нагрузка металлургических заводов, тяговая нагрузка железной дороги и т. д.);
- только потребители искажений (синхронные и асинхронные двигатели, генераторы, конденсаторные батареи, реакторы и т. д.);
- смешанная группа, которая содержит как источники, так и потребители искажений.

Возможны несколько вариантов ответственности участников электроснабжения за качество электроэнергии.

Во-первых, только электроснабжающая организация (ЭСО) ответственна перед потребителями за КЭЭ, поэтому она должна стремиться или к улучшению КЭЭ (как того требует ГОСТ), или к уменьшению затрат при ухудшенном качестве в случае предъявления санкций со стороны потребителя.

Во-вторых – ухудшение КЭЭ возникает из-за потребителей, имеющих искажающую нагрузку вне зависимости от значения токов. Соответственно, улучшение качества (уменьшение напряжения искажения) возможно либо за счет уменьшения суммы искажающих токов, либо за счет увеличения суммы проводимостей неискажающих нагрузок потребителей. При этом уменьшение суммы искажающих токов возможно за счет уменьшения их модулей или взаимного расположения их векторов, а увеличение суммы проводимостей неискажающих нагрузок возможно за счет увеличения их модулей или за счет взаимного расположения их векторов.

Также следует учитывать, что модуль тока или проводимости зависит только от оборудования потребителя, в то время как угол между модулями токов – от режима сети ЭСО. Это значит, что только по значению модулей искажающих токов можно оценить вклад потребителей, в том числе ЭСО, в ухудшение КЭЭ.

В-третьих – все искажающие нагрузки качественно одинаково влияют на ухудшение показателей качества электроэнергии (пропорционально своей доле в суммарной искажающей нагрузке), а все неискажающие также одинаково в размерах своей доли влияют на улучшение качества. Поэтому было бы неправильно привязывать влияние потребителей и ЭСО на КЭЭ к тарифам на электроэнергию. Было бы более корректно оценку вклада каждого потребителя рассчитывать (в рублях) по количеству потребленной электроэнергии и добавить к сумме оплаты за электроэнергию, а оценку вклада ЭСО вычитать из суммы оплаченной электроэнергии. Компенсацию для каждого потребителя и ЭСО необходимо также рассчитывать по потребленной и выданной электроэнергии.

Рассмотрим, как в настоящее время решается проблема определения источника искажения и потребителя искажений.

Наиболее известный способ определения потребителя, ухудшающего КЭЭ, – сравнение значений показателей КЭЭ при отключенном и включенном потребителе [1].

Этот способ позволяет выявить источник искажения и его вклад в искажение в конкретный момент времени. Однако при этом фиксируют показатели КЭЭ в узле до подключения потребителя, которые в дальнейшем считают неизменными, что не совсем корректно, а изменения параметров КЭЭ после подключения нового потребителя объясняют влиянием только последнего подключенного потребителя. На самом деле параметры КЭЭ в узле претерпевают постоянные изменения в течение всего времени энергоснабжения и эти изменения зависят от всех искажающих нагрузок. Отследить, насколько каждая нагрузка повлияла на КЭЭ в узле в целом, этот способ не позволяет.

В другом способе определения потребителя, ухудшающего КЭЭ, определяют угол между током искажающего параметра через нагрузку и напряжением искажающего параметра в узле сети, к которому эта нагрузка подключена, и по характеру этого угла устанавливают, является ли потребитель искажающей нагрузкой [2]. Этот способ в условиях большого количества искажающих нагрузок не позволяет корректно определить по углу конкретную искажающую нагрузку и ее вклад, так как, если значение и фаза тока определяются конструктивными особенностями нагрузки и напряжением основной (промышленной) частоты, то значение и фаза напряжения искажения определяются совокупным влиянием всех источников искажающих токов. Таким образом, искажающий ток нагрузки и напряжение искажающего параметра в узле, к которому подключена нагрузка, практически не зависят друг от друга, и по углу между ними невозможно определить точно, генерирует ли исследуемая нагрузка искажающий ток, либо потребляет.

Следующий способ определения потребителя, ухудшающего КЭЭ [3], основан на том, что измеряют искажающие токи нагрузок и напряжения искажающего параметра в узле, в котором подключены эти нагрузки. По замеренным токам и напряжениям определяют мощность искажения в каждом потребителе и по полярности мощности определяют, генерирует исследуемая нагрузка искажение или потребляет. Способ позволяет определить источник искажения параметра КЭЭ в случае, когда источник искажения в узле один, однако он не позволяет получить объективную оценку его доли в искаженном параметре в условиях большого количества искажающих нагрузок и корректно определить по характеру искажающей мощности конкретную искажающую нагрузку, так как, если величина и характер искажающей мощности определяется конструктивными особенностями нагрузки и напряжением основной (промышленной частоты), то величина и фаза напряжения искажения определяются совокупным влиянием всех источников искажающих мощностей. Таким образом, искажающая мощность нагрузки и напряжение искажающего параметра в узле, к которому подключена нагрузка, практически не зависят друг от друга и по характеру искажающей мощности невозможно определить точно, генерирует ли исследуемая нагрузка искажение, или потребляет.

Во многих электросетевых компаниях в настоящее время установлены или устанавливаются цифровые устройства телемеханики и средства приборного контроля, которые напрямую подключены к вторичным цепям ТТ и ТН и соединены через устройства связи с диспетчерским пунктом района электрических сетей (ДП РЭС). При установке необходимо выбирать цифровые устройства телемеханики и средства приборного контроля, позволяющие измерять параметры КЭЭ в темпе процесса потребления электроэнергии (достаточно будет получать на ДП РЭС 1-минутные срезы измерений по всем присоединениям подстанций РЭС) в объеме, необходимом для расчета вкладов потребителей и ЭСО в качество электроэнергии.

Литература

1. Правила присоединения потребителя к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии. – Главгосэнергонадзор, 1991.
2. Никифорова, В. Н. Метод определения фактического вклада субъекта, имеющего искажающие электроприемники, обусловившие несоответствие показателей качества электроэнергии / В. Н. Никифорова, А. Н. Лушнова // Технологии электромагнитной совместимости. – 2002. – № 1 (4).
3. Патент США. – № 5 508 623.

УДК 621.3

**РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТРИЧНОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ**

А. С. Третьяков, К. Н. Романенко

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

Частотным преобразователем называется устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения питания частоты 50/60 Гц в переменное напряжение другой частоты.

Классический преобразователь частоты имеет в своем составе звено постоянного тока, фильтр и инвертор. Достоинствами такой схемы являются высокая точность регулирования, плавный пуск двигателя, энергосбережение и т. д. Основными недостатками являются:

- засорение источника питания высшими гармониками;
- необходимость применения электролитических конденсаторов для фильтра;
- необходимость установки тормозного резистора для торможения и режима рекуперации и т. д.

Матричные преобразователи частоты (МПЧ) – одно направлений развития частотных преобразователей. В основе конструкции МПЧ лежит двунаправленный переключатель на базе IGBT-модуля. Подключение таких ключей напоминает матрицу, откуда и название данного класса преобразователей. Как правило, используется девять переключателей (по три переключателя в фазу).

В отличие от классических преобразователей частоты МПЧ не имеют звена постоянного тока, что упрощает их конструкцию (отсутствует двойное преобразование энергии и дает высокие энергетические характеристики), а также значительное снижение уровня гармонических искажений.

Матрица ключей сделана так, что энергия может как подводиться к двигателю, так и отводиться обратно в сеть при торможении и рекуперации (нет необходимости использования тормозных резисторов).

В отличие от классических преобразователей частоты МПЧ формирует практически синусоидальный выходной сигнал тока и напряжения.

Также можно отметить наличие режима BYPASS, при котором после запуска двигатель подключается напрямую к сети питания.

Ведущим производителем МПЧ сегодня является компания OMRON, выпускающая большую линейку МПЧ с разными характеристиками (например, серия МПЧ U1000 в большом диапазоне мощностей с самыми передовыми технологиями на сегодняшний день).

Целью работы является разработка лабораторного комплекса для исследования матричного преобразователя частоты U1000. Достоинства данного преобразователя:

- энергосбережение в четырех квадрантах;
- автоматическая коррекция данных двигателя;
- высокоэффективное преобразование без промежуточного выпрямления;
- простой монтаж, минимальная потребность в обслуживании;
- обеспечение безопасности: SIL3, безопасное снятие момента;
- встроенный электромагнитный фильтр;
- низкий уровень гармоник входного тока;
- рекуперация энергии в сеть питания;
- широкий спектр интерфейсов.

Для автоматизации лабораторного комплекса было решено применить персональный компьютер в качестве верхнего уровня системы управления и аппаратуру фирмы «Овен» для формирования измерительной системы.

Персональный компьютер представляет собой верхний уровень системы автоматизированного управления, который предназначен для следующего:

- настройка и программирование измерительных, управляющих и контрольных приборов и датчиков среднего и нижнего уровней;
- программирование параметров эксперимента;
- программирование режима работы испытуемого электродвигателя и его нагрузки;
- настройка отображаемых и регистрируемых величин;
- настройка программируемого логического контроллера для управления комплексом.

Для настройки и программирования измерительных, управляющих и контрольных приборов и датчиков среднего и нижнего уровней перед началом эксперимента используется фирменное программное обеспечение, шедшее в комплекте с приборами.

Для программирования параметров эксперимента используется программное обеспечение LabView. С помощью данной программы программируется время эксперимента, продолжительность включения испытуемого асинхронного электродвигателя, выбираются каналы регистрируемых величин и т. д. Для отображения регистрируемых величин используется программа Trace Mode v6.

В качестве нагрузки для испытуемого асинхронного электродвигателя выступает двигатель постоянного тока, у которого якорь замкнут на активное сопротивление. Для регулирования нагрузки используется канал напряжения возбуждения. Регулирование нагрузки заключается в регулировании напряжения возбуждения двигателя постоянного тока как по амплитуде, так и по времени. Управляющая программа позволяет сформировать график изменения нагрузки любой формы и на весь период эксперимента.

Средним уровнем системы управления является программируемый логический контроллер и архиватор. Связь между верхним и нижним уровнем осуществляется посредством преобразователя интерфейсов АС-3М (переход от интерфейса RS-232 к интерфейсу RS-485).

Архиватор МСД-200 является верхним подуровнем и работает в режиме Master. Данный прибор предназначен для архивирования регистрируемых величин.

Программируемый логический контроллер является нижним подуровнем и предназначен для следующего:

- управления силовыми каналами испытуемого асинхронного электродвигателя;

- первичной обработки поступающей информации с последующей ее передачей на следующий уровень;
- управления нагрузкой;
- запуска/остановы эксперимента.

Для удобства управления и сбора информации все цифровые приборы объединены в единую сеть RS-485.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ

А. С. Третьяков, О. А. Капитонов

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

Температурный режим асинхронного электродвигателя является одним из основных факторов, определяющих срок службы электродвигателя. Серийно выпускающиеся электродвигатели, как правило, выходят на номинальный температурный режим, являющийся оптимальным, при номинальном значении нагрузки на валу и номинальных значениях величины и частоты питающего напряжения.

Существуют известные методики расчета требуемой мощности и выбора электродвигателя для работы с нагрузкой, не равной номинальной, а также методики анализа тепловентиляционных процессов в асинхронных электродвигателях [1]. Формулы для расчетов по данным методикам получены при допущении, что электродвигатель питается синусоидальным напряжением номинальной величины и частоты.

В настоящее время асинхронные электродвигатели широко используются в составе регулируемых электроприводов. При этом электродвигатель питается от импульсного преобразователя несинусоидальным напряжением с отличной от номинальной величиной и частотой. Такой характер напряжения питания приводит к увеличению потерь в различных элементах электродвигателя и, как следствие, повышенному нагреву и работе электродвигателя в более тяжелом температурном режиме при той же величине нагрузки.

Таким образом, актуальной является задача расчета и моделирования тепловых процессов в асинхронном электродвигателе с учетом несинусоидальности питающего напряжения, и разработка методик расчета требуемой мощности и выбора электродвигателя для работы в таких условиях.

Активная мощность несинусоидального тока равна сумме активных мощностей отдельных гармоник:

$$P = \sum_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N U_i I_i \cos \varphi. \quad (1)$$

Реактивная мощность Q несинусоидального тока определяется по аналогии с активной мощностью P как алгебраическая сумма реактивных мощностей отдельных гармоник:

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i = \sum_{i=1}^N U_i I_i \sin \varphi. \quad (2)$$

Для цепи несинусоидального тока применяется также и понятие полной мощности, которая определяется как произведение действующих значений напряжения и тока:

$$S = UI = \sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2 \sum_{i=1}^N I_i^2}. \quad (3)$$

Как известно, для цепи синусоидального тока мощности P , Q , S образуют прямоугольный треугольник, из которого следует соотношение

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (4)$$

Для цепей несинусоидального тока это соотношение между мощностями выполняется только для резистивных элементов, в которых в соответствии с законом Ома ($u = iR$) формы кривых функций $u(t)$ и $i(t)$ идентичны. Если в цепи содержатся реактивные элементы L и C , то это соотношение не выполняется:

$$S \geq \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (5)$$

Для баланса этого уравнения в его правую часть вносят добавление:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}. \quad (6)$$

Откуда

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}, \quad (7)$$

где T – мощность искажения – понятие математическое, характеризует степень различия в формах кривых напряжение $u(t)$ и тока $i(t)$.

Спектры токов и напряжений на фазах обмоток асинхронного электродвигателя могут быть получены методом компьютерного моделирования электромагнитных процессов в системе «асинхронный электродвигатель–силовой преобразователь».

Расчет потерь в стали электродвигателя при питании от несинусоидального источника напряжения является довольно сложной задачей.

Напряжение на статоре электродвигателя произвольной формы может быть разложено на гармонические составляющие, и для каждой отдельно взятой составляющей можно найти долю потерь в стали электродвигателя. Для определения величины потерь была разработана модель исследуемого электродвигателя в программе FEMM. В результате моделирования работы электродвигателя в программе FEMM были получены значения потокосцепления намагничивания электродвигателя для каждой из гармонических составляющих тока статора. На основе данных значений может быть построена амплитудно-фазовая частотная характеристика, связывающая потокосцепление намагничивания и частоту тока намагничивания, а от амплитудно-фазовой частотной характеристики можно осуществить переход к передаточной функции, пригодной для использования в динамической модели асинхронного электродвигателя.

Предлагаемые методики расчета потерь энергии могут быть использованы при проектировании электродвигателей, предназначенных для работы совместно с силовым электронным преобразователем, в составе регулируемого электропривода.

Литература

1. Третьяков, А. С. Моделирование тепловентиляционных режимов работы асинхронных электродвигателей при питании от синусоидального источника напряжения / А. С. Третьяков, О. А. Капитонов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2018. – № 2. – С. 66–73.

УДК 628.984

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ МЕТОДОМ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

А. Э. Левзикова

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

Метод расчета освещения по удельной мощности. Метод удельной мощности широко применяют в проектной практике, что позволяет без выполнения светотехнических расчетов определять мощность всех ламп общего равномерного освещения, требуемого по нормам в данном помещении.

В основу расчета по удельной мощности положен метод коэффициента использования светового потока.

Из светотехники известно, что световая отдача лампы (лм/Вт) определяется по выражению

$$\eta = \Phi / P_{\text{л}}, \quad (1)$$

где $\Phi = \frac{EK_3 Sz}{n \cdot u}$.

Отсюда

$$\Phi = P_{\text{л}} \eta + \frac{EK_3 Sz}{nu}. \quad (2)$$

Решив это уравнение относительно $nP_{\text{л}}$ и разделив обе части уравнения на площадь S , получим:

$$\frac{nP_{\text{л}}}{S} = P_{\text{уд}}. \quad (3)$$

Из этого выражения видно, что удельная мощность является функцией переменных величин, входящих в формулу расчета по методу коэффициента использования. На основании светотехнических расчетов, выполненных этим методом, составлены таблицы удельной мощности при равномерном размещении стандартных светильников общего освещения.

Удельной мощностью $P_{\text{уд}}$ называется отношение суммарной мощности всех ламп, установленных в данном помещении, к площади освещаемой поверхности (пола), Вт/м². Расчет удельной мощности и количества ламп для различных источников света по методу удельной мощности приведен в табл. 1.

Таблица 1

Расчет удельной мощности и количества ламп для различных источников света по методу удельной мощности

Мощность ламп	Площадь, м ²	Коэффициент использования светового потока	Удельная мощность и количество ламп							
			Люминесцентные лампы		Индукционные лампы		Светодиодные лампы		Разрядные лампы	
			$P_{уд}$, Вт/м ²	n , шт.	$P_{уд}$, Вт/м ²	n , шт.	$P_{уд}$, Вт/м ²	n , шт.	$P_{уд}$, Вт/м ²	n , шт.
250	10000	0,6	6,58	3132	7,44	930	4,47	447	11,02	440
400			6,41	2289	7,44	6,19	5,25	350	9,02	248
700			6,31	1803	7,44	495	5,95	297	10,16	145
1000			6,78	1384	7,73	383	–	–	10,09	100,9

Расчет количества ламп для различных источников света по методу коэффициента использования приведен в табл. 2.

Таблица 2

Расчет количества ламп для различных источников света по методу коэффициента использования

Мощность ламп	Площадь, м ²	Коэффициент использования светового потока	Количество ламп, рассчитанных методом коэффициента использования			
			Люминесцентные лампы	Индукционные лампы	Светодиодные лампы	Разрядные лампы
			Люминесцентные лампы	Индукционные лампы	Светодиодные лампы	Разрядные лампы
			n , шт.	n , шт.	n , шт.	n , шт.
250	10000	0,6	3947	1192	564	555
400			2885	781	441	312
700			2273	625	375	183
1000			1744	487	–	127

Расчет точности расчета количества ламп по двум методам приведен в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение точности расчета количества ламп по двум методам

Количество ламп, рассчитанных методом удельной мощности и методом коэффициента использования											
Люминесцентные лампы			Индукционные лампы			Светодиодные лампы			Разрядные лампы		
n , шт.	n , шт.	Δn , %	n , шт.	n , шт.	Δn , %	n , шт.	n , шт.	Δn , %	n , шт.	n , шт.	Δn , %
3947	3132	20,6	1192	930	22	564	447	20,7	555	440	20,7
2885	2289	20,6	781	619	20,7	441	350	20,6	312	248	20,5
2273	1803	20,6	625	495	20,8	375	297	20,8	183	145	20,7
1744	1384	20,6	487	383	21,3	–	–	–	127	100,9	20,5

Из проведенных расчетов можем сделать вывод, что количество ламп, рассчитанных методом удельной мощности, больше, чем методом коэффициента использования. Это обусловлено тем, что метод удельной мощности – расчетный, дает погрешность около 20 %.

Литература

1. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. Кнорринг, Г. М. Проектирование электрического освещения : справ. кн. / Г. М. Кнорринг. – Л., 1976. – 383 с.

УДК 621.575(088.8):664.8

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ АБСОРБИЦИОННЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ АГРЕГАТАМИ

А. С. Титлов, Д. С. Тюхай, О. А. Титлова, Л. В. Березовская, Д. Б. Адамбаев
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина

Современные требования к холодильным агентам в части озонобезопасности и минимизации вклада в «парниковый» эффект открывают широкие возможности для холодильных аппаратов абсорбционного типа или аппаратов с абсорбционно-диффузионными холодильными аппаратами (АХА), работающими с традиционным водоаммиачным раствором (ВАР) в качестве рабочего тела.

Основной недостаток АХА, сдерживающий их широкое распространение, – низкая энергетическая эффективность, обусловленная физическими особенностями холодильного цикла. Этот фактор не только предопределяет повышенные, по сравнению с компрессионными аналогами, стоимостные затраты, но и соответствующий вклад в «парниковый» эффект.

Анализ результатов экспериментальных исследований опытных и серийных моделей холодильных аппаратов с АХА показал, что их повышенный уровень энергопотребления обуславливается существующей методологией расчета и способом управления при эксплуатации. В соответствии с существующими требованиями к бытовым и торговым холодильным аппаратам, в первую очередь, необходимо обеспечить заданный температурный режим в холодильной камере в «жестком» режиме эксплуатации, при этом, как правило, работа АХА осуществляется в непрерывном режиме ($KPB = 1$), а величина энергопотребления во внимание не принимается.

Как показывает эксергетический анализ цикла АХА, наибольший успех в энергосбережении можно добиться при оптимизации прямого (теплового) цикла, который реализуется в так называемом «приводном» контуре АХА. Особое внимание при этом необходимо уделять перекачивающему термосифону (ПТС), потери эксергии в котором достигают 60 % от суммарных.

Анализ основных направлений энергосбережения показал, что наибольший успех при минимуме затрат может быть достигнут за счет использования оптимальных систем управления аппаратами с АХА, в частности, за счет изменения величины теплоподвода на ПТС в зависимости от температурных режимов в характерных точках холодильной камеры и АХА.

Проблемы энергосбережения в ПТС связаны с частичной конденсацией паров в подъемной части. Она решается за счет распределения подводимой тепловой нагрузки на ПТС в зависимости от температуры окружающей среды и температуры в холодильной камере. Эффект энергосбережения при этом составляет 15–16 %.

Основное внимание при разработке энергосберегающих режимов АХА уделялось генераторному узлу. Было показано, что в значительной мере энергосберегающие режимы холодильного аппарата определяются режимом прохода пара через затопленный U-образный ректификатор АХА.

Режимы прохода пара зависят от величины теплоподвода к ПТС АХА. В энергосберегающих режимах работы АХА проход пара осуществляется путем барботирования. При увеличении тепловой нагрузки на ПТС пар оттесняет жидкость и в верхней части ректификатора образуется паровая прослойка. Очистка пара и предварительный подогрев пара в ректификаторе в этом режиме минимальны. На примере модели низкотемпературной камеры (НТК) «Стugna-101» АМЛ-180 было показано, что работа в энергосберегающих режимах позволяет снизить энергопотребление по сравнению с лучшими зарубежными аналогами до 50 % [3].

Развитие этого направления было связано с установкой дополнительного теплоизоляционного кожуха на дефлегматоре АХА. Эффект энергосбережения в этом случае составил: 21 % («Киев-410»); 12 % («Кристалл-408»); 17 % («Стugna-101» АМЛ-180). Для реализации таких энергосберегающих режимов необходимо осуществлять контроль температуры пара на выходе дефлегматора – она не должна превышать температуры насыщения аммиака при рабочем давлении в АХА (около 50 °С) [4].

При разработке энергосберегающих способов управления исходили из того, что в нерабочем периоде температура элементов приводного контура АХА (термосифона, ректификатора, дефлегматора) за счет тепловых потерь в окружающую среду снижается.

Это сопровождается не только охлаждением крепкого и слабого ВАР, но и частичной конденсацией паров в дефлегматоре и конденсаторе АХА. При конденсации паров их место занимает инертный газ, до этого находящийся в контуре естественной циркуляции (КЕЦ). Очевидно, что чем больше время нерабочего периода, тем ниже опустится температура и тем больший объем в дефлегматоре АХА займет инертный газ.

При подаче тепловой нагрузки на ПТС инертный газ будет выталкиваться в КЕЦ динамическим напором парового потока, величина которого будет зависеть от количества паровой фазы. В момент запуска АХА определенное количество генерируемого в ПТС пара будет затрачиваться на разогрев элементов конструкции ректификатора, дефлегматора и конденсатора. При прочих равных условиях время прохождения парового потока до конденсатора будет определяться степенью охлаждения элементов приводного контура в нерабочем периоде, т. е. длительностью нерабочего периода. Это говорит о том, что известное положение – «чем больше время нерабочего периода, тем больше экономичность», не всегда применимо для бытовых и торговых абсорбционных холодильных аппаратов.

Для повышения экономичности необходимо не допускать значительного переохлаждения элементов конструкции приводного контура АХА.

Уменьшить степень переохлаждения транспортных элементов приводного контура АХА можно как путем увеличения термического сопротивления теплоизоляции генераторного узла, так и частичным их прогревом в нерабочем периоде.

Первый путь в бытовой и торговой технике ограничен габаритными требованиями, второй – более перспективен.

Несколько иная ситуация в холодильных аппаратах с высоким термическим сопротивлением ограждающих конструкций, например, в НТК с «суперизоляцией»

«Стugna-101» АМЛ-180. В отличие от однокамерных или двухкамерных моделей, в которых регламентировано соотношение температур в камерах, НТК потенциально имеют большие функциональные возможности, так как могут применяться практически во всем диапазоне температур хранения, используемом в быту, – от $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, т. е. стать универсальным холодильным прибором.

В этом случае теплоизоляционные конструкции камеры традиционно должны проектироваться с учетом работы АХА в «жестком» режиме эксплуатации, поэтому универсальная модель будет обладать значительным запасом холодопроизводительности при умеренных низких температурах окружающей среды и положительных температурах хранения.

В таких универсальных аппаратах, выполненных по классу SN^* , могут иметь место режимы хранения с минимум либо отсутствием теплопритоков ($t_k = 5\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{o,c} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Время рабочего периода в этом случае гораздо меньше нерабочего, поэтому обеспечивать постоянный прогрев элементов генераторного узла может быть нецелесообразно. В таких условиях эксплуатации экономичнее может быть позиционный режим управления.

УДК 641.539:621.574.013-932.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ДЕФЛЕГМАТОРА КОМБИНИРОВАННОГО АБСОРБЦИОННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ПРИБОРА

А. О. Холодков, А. С. Титлов, В. Г. Приймак, Т. И. Гратий

Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина

Анализ тепловых режимов абсорбционных холодильных агрегатов (АХА) показал, что перспективным направлением в энергосбережении может стать разработка бытовых приборов, совмещающих функции холодильного хранения и тепловой обработки пищевых продуктов, полуфабрикатов и сельскохозяйственного сырья. В таких комбинированных бытовых приборах теплота, выделяющаяся при реализации холодильного цикла, не отводится в окружающую среду, а направляется в специальную тепловую камеру (ТК). В объеме ТК поддерживается температура выше, чем температура воздуха в помещении. Эффект энергосбережения достигается за счет того, что температурные режимы в ТК поддерживаются без привлечения дополнительных энергозатрат.

На предварительном этапе разработки бытовых комбинированных приборов был приведен анализ технологий, использующих термическую обработку продуктов, полуфабрикатов и сырья. Показано, что для реализации в быту подавляющего числа пищевых технологий достаточным является диапазон температур: $50\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В современной бытовой холодильной технике такой диапазон температур отвода тепла холодильного цикла может быть получен только в АХА, причем анализ температурных полей показал, что необходимым температурным потенциалом (более $70\text{ }^{\circ}\text{C}$) обладают опускной и подъемный участки дефлегматора и ректификатор.

В опускном участке дефлегматора и в ректификаторе проходит паровой поток водоаммиачной смеси, который используется для предварительного подогрева потока крепкого водоаммиачного раствора (ВАР) на входе генератора, поэтому отбор тепла в этих элементах влияет на энергетическую эффективность цикла АХА.

Максимальный эффект энергосбережения в части обеспечения температурных режимов ТК может быть достигнут в случае отбора тепла на подъемном участке дефлегматора. С учетом того, что большинство времени эксплуатации АХА в составе холодильного прибора работает в нестационарном режиме (позиционном либо комбинированном) с переменными тепловыми нагрузками на элементах следует оценить возможность применения ТК в составе абсорбционного холодильного прибора.

В первую очередь, необходимо оценить тепловой и температурный потенциал подъемного участка дефлегматора при работе в таких нестационарных режимах.

В общем случае, исходя из общих физических представлений, можно выделить два режима работы дефлегматора:

а) режим очистки паровой смеси, когда температура стенки превышает температуру конденсации аммиака;

б) режим частичной конденсации чистых паров аммиака.

Исходными данными при моделировании являются:

а) размеры подъемного участка дефлегматора (длина, внутренний и наружный диаметры трубы);

б) коэффициенты теплопроводности материала стенки трубы дефлегматора и материала тепловой изоляции;

в) массовый расход пара аммиака на выходе подъемного участка дефлегматора G''_{ex} ;

г) параметры потока паровой смеси на входе в подъемный участок дефлегматора (температура, массовая концентрация).

На вход подъемного участка дефлегматора поступает паровая водоаммиачная смесь с параметрами.

При частичной дефлегмации на начальном (нижнем) участке за счет разности температур стенки и потока концентрация аммиака в нем увеличивается. Равновесная температура потока паровой смеси при этом снижается и на следующем, расположенном выше участке дефлегматора температура стенки будет ниже, чем на начальном.

За счет изменения температуры стенки по высоте дефлегматора будут иметь место аксиальные перетоки тепла по сечению трубы (Q_{ax}).

Противотоком паровой смеси по внутренней стенке дефлегматора стекает охлажденная флегма. Теплота дефлегмации (Q_D) после подогрева флегмы (Q_F) отводится в окружающую среду (Q_{env}) как в зоне установки теплоизоляционного кожуха, так и со свободной поверхности трубы.

В основе математической модели лежат уравнения сохранения тепла и массы, которые для участка дефлегматора высотой Δx имеют вид:

$$\Delta Q_{D(dx)} = \Delta Q_{env(dx)} + \Delta Q_F + \Delta Q_{ax};$$

$$G''_{ex} = G''_{dx} + G'_{dx},$$

где G''_{dx} и G'_{dx} – массовые расходы паровой смеси на выходе участка Δx и флегмы, образующейся на этом участке, соответственно, кг/с.

Расчеты проведены для трубы дефлегматора диаметром $16 \times 1,5$ мм. Материал трубы – сталь ($\lambda_s = 45$ Вт/(м · К)). Материал теплоизоляции кожуха – ткань из стекловолокна ($\lambda_{ii} = 0,056$ Вт/(м · К)). На вход подъемного участка дефлегматора поступает водоаммиачная паровая смесь с температурой, равной 120 °С.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Перспективным направлением энергосбережения в бытовой технике может стать разработка приборов, совмещающих функции холодильного хранения и тепловой обработки пищевых продуктов, полуфабрикатов и сельскохозяйственного сырья. В таких бытовых комбинированных приборах теплота, выделяющаяся при реализации холодильного цикла, не отводится сразу в окружающую среду, а передается в специальную ТК, при этом в объеме ТК поддерживается температура выше, чем температура воздуха в помещении. Эффект энергосбережения достигается за счет расширения функциональных возможностей бытовых приборов без привлечения дополнительных энергозатрат.

2. Анализ температурных режимов АХА показал, что только подъемный участок дефлегматора обеспечивает работоспособность ТК в составе комбинированного теплового прибора.

3. Проведенное моделирование тепловых режимов подъемного участка дефлегматора показало, что тепловая изоляция должна закрывать весь участок, ее толщина для стекловолонистой ткани должна быть не менее 3–4 мм. Тепловые потери в окружающую среду при этом сокращаются от 17 до 22 %.

4. Особый интерес разработанная модель представляет при оптимизации режимов работы АХА с переменными тепловыми нагрузками в генераторе, в том числе и с форсажными. Имея зависимость расхода паровой смеси на входе в дефлегматор от подводимой тепловой нагрузки, можно контролировать расположение зоны очистки пара аммиака при любой температуре воздуха в помещении и реализовывать энергосберегающие режимы работы бытовых комбинированных приборов с помощью электронных систем управления.

СЕКЦИЯ 6. РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 620.173.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ТВЕРДОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ МИКРОИНДЕНТИРОВАНИЮ

А. В. Халецкий¹, Р. Е. Гутман¹, В. М. Ткачев², И. Н. Степанкин²

¹РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Микро- и макроиндентирование материалов непрерывным вдавливанием жесткого инструмента – пирамид Виккерса, Берковича и др. является сравнительно недавно открытым способом оценки различных свойств материалов, впервые опубликованный в работе [1]. Одним из вариантов регистрации результатов исследования является построение диаграмм в осях нагрузка–перемещение. На получаемых графиках укрупненно регистрируется ветвь нагружения и разгрузки. В зависимости от свойств испытуемого материала на кривой могут дополнительно присутствовать участки, отражающие процесс релаксации упругопластических деформаций, свойственный металлам, а также упругого восстановления формы отпечатка [2]. Собственно упругая реакция материала является одним из наиболее привлекательных проявлений взаимодействия материала с индентором. Она регистрируется по ветви разгрузки. По результатам анализа этой части кривой индентирования можно определить одну из важнейших упругих констант материала – статический модуль Юнга. Его расчет осуществляется на основании частного решения задачи Герца об упругом вдавливании жесткого тела в полупространство [3]. При использовании в качестве индентора пирамиды Виккерса определение модуля Юнга осуществляется по зависимости (1):

$$E = (1 - \nu^2) \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{Ap} \left(\frac{dw}{dP} - \frac{dh_n}{dP} \right) - \frac{1 - \nu_u^2}{E_u} \right]^{-1}, \quad (1)$$

где \sqrt{Ap} – площадь проекции упругого контакта, зависящая от контактной глубины h_c , формирующейся при внедрении и пластической деформации испытуемого материала; dh_n – суммарная поправка на податливость, состоящая из податливости измерительного прибора; E и E_u – модули упругости, Па; ν , ν_u – коэффициенты Пуассона двух контактирующих материалов; P – нагрузка, Н; w – перемещение индентора, м.

В случае практического применения указанной формулы одной из основных проблем, связанных с достижением необходимой точности расчета, является задача определения площади проекции упругого контакта – Ap . Ее принято рассчитывать исходя из глубины h_c . При определении данного параметра важной методологической особенностью является учет двух видов упругой деформации. Она при разгрузке индентора регистрируется второй частью графика (рис. 1).

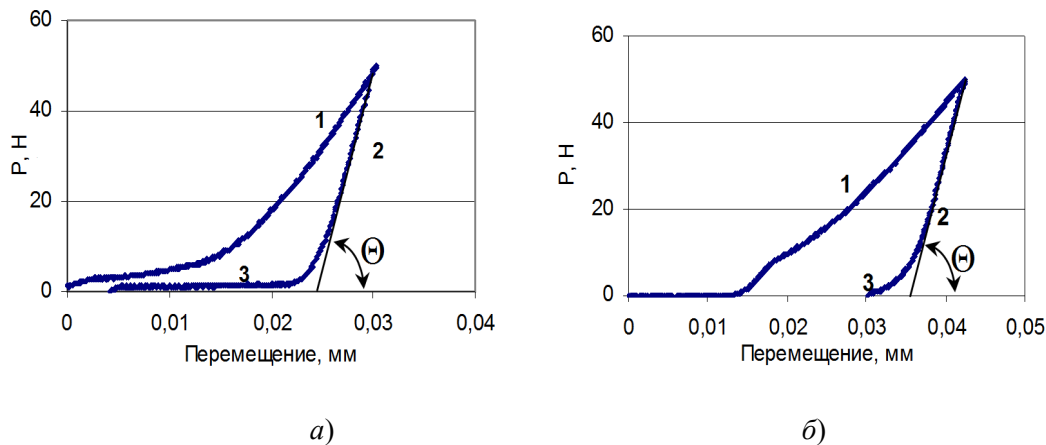


Рис. 1. Кривые индентирования термообработанной стали Р6М5 (а) и природного пористого материала (б)

Однако форма кривой разгрузки существенно отличается при испытании материалов различной природы. Как видно из рис. 1, упругая отдача при разгрузке инструментальной стали Р6М5 (63HRC) регистрируется на двух участках. На начальном этапе разгрузки – участок кривой 2 (рис. 1, а) – наблюдается практически прямолинейная зависимость, располагающаяся под некоторым углом Θ , отражающим модуль Юнга материала. На конечном участке 3 происходит упругое восстановление формы отпечатка. При испытании природного материала – горной породы, содержащей в своей основе соединения кальция отмечено только упругое оттеснение индентора основным объемом материала – участок 2 (рис. 1, б), а восстановление формы отпечатка (участок 3), регистрируется значительно более коротким графиком. Данный материал в отличие от большинства металлических сплавов обладает определенной пористостью. Кроме того, его разрушение как правило происходит исключительно по хрупкому механизму [4]. Поэтому в момент нагружения (кривая 1) происходит нарушение пористой структуры и образование плотного слоя, который в последующем не восстанавливает свою структуру при разрушении. Эту особенность необходимо учитывать при расчете координаты углубления индентора, которая используется для определения площади проекции упругого контакта – A_p . В нашем случае проведенные экспериментальные исследования показали, что при исследовании металлических материалов глубина внедрения индентора, используемая в расчетах, соответствует точке на границе между участками кривой 2 и 3. Расчет модуля Юнга, проведенный для стали Р6М5, показал, что рассчитанная величина отличалась от табличного значения, полученного по стандартной методике не более чем на 10 %. Аналогичные результаты достигнуты при испытании природного материала, но с учетом того, что расчет площади проекции контактной поверхности производился для максимальной глубины. Подобные различия объясняются природой взаимодействия индентора с испытываемыми материалами. Поверхностный слой металлических сплавов по мере разгрузки и упругого отторжения не изменяет своего физического состояния и не подвергается разрушению, т. е. размер отпечатка, сформированный в условиях упругопластической деформации поверхностного слоя и упругого искажения отпечатка при максимальной глубине внедрения индентора и его положении в точке сопряжения участков графика 2 и 3, одинаков. В то же время размер отпечатка природного материала вследствие своей хрупкости изменяется. Материал по мере

подъема индентора разрушается (рис. 2). В итоге достоверная проекция площади упругого контакта может быть определена при расчете по максимальной глубине внедрения индентора.

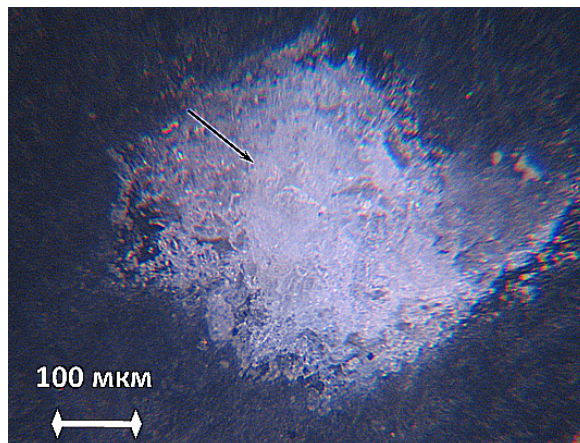


Рис. 2. Форма отпечатка индентора, полученная при испытании природного материала

Литература

1. Oliver, W. C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W. C. Oliver, G. P. Pharr. // J. Mater. Res. – 1992. – Vol. 7, № 6. – P. 1564–1575.
2. Golovin, Yu. I. Nanoindentation and mechanical properties of solids in submicrovolumes, thin near-surface layers, and films A Review / Yu. I. Golovin // Physics of the Solid State. – 2008. – Vol. 50, № 12. – P. 2205–2236.
3. Hertz, H. Über die Berührung fester elastischer Körper / H. Hertz // Journal für die reine und angewandte Mathematik. – 1881. – Vol. 92. – P. 156–171.
4. Le, H.-T. Assessing the mechanical properties of a rock using indentation tests / H.-T. Le, F. Descamp, J.-P. Tshibangu, J.-F. Nauroy, O. Vincke and L. Cangemi // Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment – Kwasniewski & Łydzba (eds). Taylor & Francis Group. – London, 2013. – P. 146–150.

УДК 622.276.6

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО ПОВЫШЕНИЮ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА НА ПОДСОЛЕВОЙ КАРБОНАТНОЙ ЗАЛЕЖИ ВИШАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

К. С. Карсеко

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

Метод заводнения широко применяется на нефтяных месторождениях Беларуси, что позволяет поддерживать пластовое давление и высокий темп извлечения нефти. На поздней стадии разработки нефтяных месторождений заводнением основная масса нефтewытесняющего агента движется по высокопроницаемым пропласткам и трещинам, не оказывая существенного влияния на выработку запасов из менее проницаемых зон. Неравномерная выработка запасов приводит к образованию про-

мытых участков, в то время как низкопроницаемые пропластки вытеснению водой практически не подвергаются, вследствие чего доля извлекаемой из пласта нефти снижается, а степень обводненности скважинной продукции увеличивается.

Решение проблемы повышения охвата нефтенасыщенного коллектора воздействием может быть достигнуто несколькими способами: путем отключения из эксплуатации отдельных обводнившихся пластов и пропластков, исходя из условий последующей рациональной разработки всего месторождения; ограничением движения вод в обводненных зонах коллектора с применением химреагентов; ограничением притока вод в добывающие скважины водоизолирующими материалами. Для этих целей в настоящее время разработано большое число тампонирующих реагентов, основным назначением которых является снижение проницаемости обводнившихся зон пласта [1].

К потокоотклоняющим технологиям относят закачку реагентов, понижающих проницаемость отдельных высокопроницаемых промытых пропластков. К ним относятся закачка суспензионных растворов; реагентов, образующих в пласте осадки в результате химического взаимодействия закачиваемого реагента с пластовыми флюидами, прежде всего с водой, или взаимодействия между реагентами закачиваемой композиции; композиции, образующие в пласте гель или эмульсии. Для перераспределения фильтрационных потоков в неоднородных по фильтрационным характеристикам пластах широко применяются водные растворы полиакриламида (ПАА). В качестве водоизоляционных материалов растворы ПАА применяются совместно с различными сшивающими агентами, среди которых наиболее широко распространены ацетат хрома, хромокалиевые квасцы и хлорид алюминия.

Считается, что структура реагентов такова, что они проникают в наиболее проницаемые пропластки, замедляют движение воды в высокопроницаемых зонах. Это приводит к перераспределению потоков жидкости в пласте в менее проницаемые пропластки и снижению степени неоднородности пласта. Созданные химреагентом гидравлические сопротивления препятствуют продвижению последующих объемов воды по промытым зонам, что приводит к изменению направления фильтрационных потоков в сторону средне- и низкопроницаемой части пласта, ранее не охваченной заводнением. Такое заполнение порового пространства прискважинной зоны приводит к выравниванию профиля приемистости пласта и более полному охвату его заводнением и, как следствие, к повышению нефтеотдачи [2].

Объектом исследования является подсолевая карбонатная залежь Вишанского месторождения. Основные цели работы:

- изучение геолого-физических характеристик залежи;
- оценка опыта и анализ эффективности проводимых мероприятий по ПНП;
- анализ исследований по подбору потокоотклоняющих составов;
- совершенствование имеющихся подходов, применяемых для увеличения нефтеотдачи пластов;
- выбор и обоснование участка залежи для проведения работ;
- обоснование объемов закачиваемых реагентов и оценка ожидаемого экономического эффекта.

Для подсолевой карбонатной залежи Вишанского месторождения были проанализированы исследования по разработке и тестированию в статических и динамических условиях потокоотклоняющих композиций различного состава. Лучшие результаты по характеристикам образующихся материалов и времени гелеобразования продемонстрировали композиции на основе 0,3 % ПАА DSGA с 0,037 % ацетатом хрома и 0,3 % ПАА AN-125 с 0,037 % ацетатом хрома.

Критериями выбора скважин-кандидатов для закачки потокоотклоняющих композиций служили приемистости скважин, наличие недренируемых участков с локализованными запасами нефти, значительная неоднородность фильтрационных свойств по разрезу скважин, а также степень влияния на добывающие скважины. Варианты с закачкой в приконтурные и законтурные нагнетательные скважины не рассматривались из-за полностью водонасыщенного интервала разреза и, соответственно, нецелесообразности изменения направления потоков нагнетания. К тому же при организации закачки в более отдаленные приконтурные и законтурные скважины требуется повышенный расход энергии для получения эффективного прироста КИН после прокачки композиций по причине значительной отдаленности последних от добывающих скважин. Есть вероятность оттока во внешнюю область пласта фронта нагнетания после закачки потокоотклоняющей композиции.

Наибольшее влияние на дополнительную добычу нефти оказывают скважины 68, 70, 142, 44, 57, 5402. Для усиления эффекта от проводимых работ предлагается производить закачку химических составов в скважины простаивающего фонда (121, 26, 102s2, 119), находящиеся на пути фронта нагнетания скважин, в которые закачивается основной объем композиций.

С каждым последующим применением потокоотклоняющих композиций их эффективность снижается. Для дальнейшего повышения коэффициента извлечения нефти рекомендуется применение потокоотклоняющих композиций, воздействующих на удаленную зону пласта (т. н. композиции с пролонгированным гелеобразованием). При этом стоит отметить, что чем дальше зона гелеобразования от нагнетательного ряда (вплоть до призабойной зоны скважин добывающего ряда), тем выше дополнительная добыча нефти от мероприятия в силу роста объема остаточных запасов с удалением от нагнетательных скважин. Результаты расчета показали, что дополнительная добыча нефти растет с увеличением объема нагнетания потокоотклоняющей композиции. Таким образом, работы должны быть направлены на достижение максимальных объемов нагнетания.

Ссылаясь на опыт предыдущих закачек, на показатели устьевых давлений, объемы закачки и результаты гидродинамического моделирования, была произведена оценка максимальной возможной приемистости скважин и ожидаемая дополнительная добыча нефти.

Л и т е р а т у р а

1. Раззак, М. А. Обоснование и исследование потокоотклоняющих технологий для повышения нефтеотдачи на месторождениях Ирака : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17 / М. А. Раззак ; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. – М., 2005. – 24 с.
2. Казакова, Л. В. Технологии повышения нефтеотдачи пластов с использованием потокоотклоняющих химреагентов / Л. В. Казакова, П. М. Южанинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2002. – № 8. – С. 79–83.

УДК 621

ОПЫТ ВОДОГАЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НА ВОСТОЧНО-ПЕРЕВАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Н. А. Демяненко¹, Е. Н. Мальшаков², Н. П. Захарова²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»
в г. Тюмень, Российская Федерация

Первый опыт по водогазовому воздействию (ВГВ) на Восточно-Перевальном месторождении получен в период с 2005 по 2015 г. на двух участках в районе: нагнетательной скважины № 222 (пласт АС₉, западная залежь); нагнетательной скважины № 480 (пласт Ач₁₋₃) и изложен в ряде публикаций. Обобщение его показало: на обоих участках месторождения технология ВГВ применялась только на начальной стадии работ. В дальнейшем вместо ВГВ начала применяться технология газовой репрессии, что отрицательно повлияло на эффективность метода, привело к ухудшению условий разработки на участке нагнетательной скважины № 222, даже по сравнению с заводнением, из-за прорыва газа по высокопроницаемым зонам верхнего высокопроницаемого пропластка к добывающим скважинам и снижению эффективности разработки на участке нагнетательной скважины № 480.

Для исправления возникшей ситуации предложили:

– в нагнетательную скважину № 222 начать закачивать воду, а затем водогазовую смесь с содержанием в ней газа не менее 30 и не более 70 % в пластовых условиях;

– в скважину № 480 организовать чередующуюся закачку оторочек газа и воды с объемом агентов в оторочках в пластовых условиях не более 0,1 объема порового пространства в зоне дренирования между нагнетательной и добывающими скважинами;

– продолжение ОПР проводить под постоянным контролем эффективности работ и с оперативной корректировкой технологических режимов закачки оторочек воды и газа.

Было установлено, что геолого-геофизические условия участка залежи Ач₁₋₃ в районе скважины № 480 благоприятны для ВГВ. Эксперимент продолжили с расширением участка воздействия и на соседние прилегающие участки в районе нагнетательных скважин № 486, 492, 497Н и 66П. Всего на экспериментальном участке работает 5 нагнетательных и 27 добывающих скважин. Разработка залежи в границах участка ОПР ведется по 9-точечной системе разработки. Второй этап эксперимента по ВГВ начат в феврале 2015 г.

Анализ эффективности второго этапа ВГВ выполнен на 01.09.2018 г. Объемы оторочек газа на 2-м этапе составляли от 0,01 до 0,11 д. ед., а воды от 0,02 до 0,25 д. ед. порового объема. Отношение объемов газа в пластовых условиях к объему воды, закачиваемых в пласт во времени, увеличивается с 0,28 ед. в 2015 г. до 0,79 ед. в первой половине 2018 г.

В первой половине 2015 г. по каждому рассматриваемому участку вокруг нагнетательных скважин ВГВ и в целом по всему экспериментальному участку эффективность системы вытеснения была низкой. Обводненность добываемой продукции нарастала на 2–3 % в месяц. Реакция по снижению темпов нарастания обводненно-

сти за счет реализации ОПР по ВГВ второго этапа появилась на восьмой – десятый месяц после начала закачки газа. На всем рассматриваемом участке в течение 2016 – первой половины 2018 г. обводненность добываемой продукции стабилизировалась на уровне 69,6–70 %. Оценка технологической эффективности работ выполнена по характеристикам вытеснения. Результаты расчета показали, что по состоянию на 01.06.2018 г. дополнительная добыча нефти по экспериментальному участку 2-го этапа ВГВ на Восточно-Перевальном месторождении составила 47,7 тыс. т, или 15,3 % от объема добычи нефти за период 2-го этапа эксперимента (2015 г. – май 2018 г.).

Для поддержания и усиления эффекта от ВГВ в дальнейшем предложено:

– продолжить циклическую закачку во все нагнетательные скважины участка оторочек воды и газа с объемами, близкими друг к другу, т. е. исключить значительные различия в объемах оторочек воды и газа в пластовых условиях (более чем в 2 раза);

– довести соотношение V_r/V_b в пластовых условиях за период одного цикла (оторочка газа + оторочка воды) до 1,0;

– в дальнейшем в пласт закачивать объемы оторочек воды и газа, равные 0,05–0,06 поровых объемов в зоне дренирования каждого из участков вокруг нагнетательных скважин;

– увеличить компенсацию отборов закачкой до 100 %, обеспечив ежедневную закачку в виде оторочек в нагнетательные скважины 500–550 м³ воды и 500–550 м³ в пластовых условиях газа или 100–120 тыс. м³ газа в сутки в нормальных условиях;

– постоянно выполнять мониторинг эффективности системы вытеснения; по результатам мониторинга, по мере выработки запасов корректировать объемы оторочек воды и газа.

С целью мониторинга состояния и эффективности выработки запасов, направления развития процесса и подготовки рекомендаций по его корректировке выполнили анализ эффективности ВГВ по состоянию на 01.09.2018 г.

Анализ состояния выработки запасов на участке ОПР по ВГВ на Восточно-Перевальном месторождении за период июнь–август 2018 г. показал:

1. На участке ВГВ увеличили объемы закачки газа с 2,2 до 2,8 млн м³ в месяц при объемах закачки воды 10–14,5 тыс. м³/мес. и снижении отборов жидкости до 27,4–27,7 тыс. т/мес. Это позволило увеличить компенсацию отборов закачкой с 70–75 до 80–85 %, стабилизировать пластовое и забойное давление в зоне отборов на уровне 201–202 и 123–124 атм, соответственно, прекратить снижение динамических уровней. Обводненность добываемой продукции стабилизировалась на уровне 66,8–66,9 %. Обводненность добываемой продукции снизилась на 1 % при увеличении отбора от низ на 0,5 %. Соотношение V_r/V_b в целом по опытному участку достигло величины 1,15 д. ед.

2. По участкам нагнетательных скважин, участвующих в эксперименте, необходимо:

– скв. № 480 – перейти с закачки газа на закачку воды с оптимизацией перепада давления между зоной нагнетания и зоной отборов и снижением его до 75–80 атм. Это возможно за счет увеличения компенсации отбора закачкой до 95–100 % и снижения отбора жидкости до 9,0–9,5 тыс. т;

– скв. № 486 – перейти от закачки воды к закачке газа. Кроме того, в дальнейшем поддерживать компенсацию отбора закачкой на уровне 90–100 %;

– скв. № 492 – перейти на закачку воды. Компенсацию следует увеличить до 80–90 %, а отборы жидкости снизить до 5,0–6,0 тыс. т;

– скв. № 66П – продолжит закачку воды до достижения оторочкой объема, равного 0,1 порового объема пласта на участке. В связи с высокими перепадами давления между зоной отборов и нагнетания и низкими динамическими уровнями, которые достигли 2000 м, для снижения рисков интенсивного роста обводненности продукции, на участке необходимо компенсацию увеличить до 80–90 %, а отборы жидкости снизить до 8,0–8,5 тыс. т;

– скв. № 497Н – с 01.10.2018 г. перейти на закачку газа. Объемы добычи жидкости и компенсацию отборов закачкой рекомендуется поддерживать на текущем уровне – 40 % и 7,0 тыс. т в месяц, соответственно.

3. Предложена программа закачек оторочек газа и воды поскважинно, по участвующим в эксперименте нагнетательным скважинам, предусматривающая закачку примерно равных оторочек воды и газа с объемами их в пределах 0,06–0,1 поровых объемов. По мере реализации данной программы необходимо каждые 3–4 месяца выполнять анализ динамики изменения показателей разработки экспериментального участка ВГВ в целом и по участкам нагнетательных скважин. По результатам этого анализа следует корректировать режимы работы фонда, объемы оторочек газа и воды, а также программу реализации ВГВ.

4. Технологический эффект, рассчитанный по кривым вытеснения, показал, что по состоянию на 01.09.2018 г. дополнительная добыча нефти за счет ВГВ составила 54,3 тыс. т. За июнь–август дополнительно добыто 6,6 тыс. т нефти.

УДК 621

МАССИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТОКООТКЛОНЯЮЩИМИ СОСТАВАМИ. ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Н. А. Демяненко¹, В. Ю. Хорюшин², Т. А. Колова², Р. Ф. Мазитов¹, В. В. Халин²

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмень, Российская Федерация*

В последние 15–20 лет основные месторождения нефти практически всех нефтегазодобывающих компаний вступили на завершающую стадию разработки, которая характеризуется высокой степенью обводнения добываемой продукции (85–95 % и более). При этом достигнутые коэффициенты извлечения нефти (КИН) составляют от 40 до 70 % от проектных. Достижение проектных КИН возможно только в результате широкого внедрения технологий повышения нефтеотдачи пластов (ПНП).

В последние годы наиболее распространенными технологиями, применяемыми для ПНП, является закачка полимерных и эмульсионных систем. Они позволяют создавать потокоотклоняющие «экраны» в промытых зонах пластов и перераспределять фильтрационные потоки в направлении низкопроницаемых невыработанных нефтенасыщенных зон.

В ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» подобные мероприятия получили широкое применение. Опыт их внедрения показал, что по мере увеличения порядкового номера операций, проводимых на одних и тех же участках залежей, по одним и тем же стандартным технологиям, эффективность работ снижается. В частности, по месторождениям ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» показатель удельной дополни-

тельной добычи нефти (на 1 скв.-опер.) с 2012 по 2017 г. снизился с 1093 до 716 т, т. е. в 1,53 раза.

В связи с этим для увеличения удельной эффективности химических методов ПНП предложено опробовать массивованные закачки потокоотклоняющих составов (ПОС). Такой проект был разработан и реализован на объекте АВ₁₋₂ Кечимовского месторождения в 2016–2017 гг.

Сущность метода заключается в массивованной и единовременной закачке ПОС во все нагнетательные скважины, участвующие в вытеснении нефти в пределах каждой из выделенных литофациальных зон пласта. По результатам массивованной обработки участков оценивали реакцию добывающего фонда на воздействие (снижение/стабилизация обводненности продукции скважины, а также снижение темпов ее роста). Определили доминирующие геологические и технологические факторы, влияющие на реакцию добывающего фонда скважин, провели зональную поскважинную корректировку типов потокоотклоняющих композиций, их объемов и режимов нагнетания для каждой литофациальной зоны и предложили повторное выполнение массивованной закачки ПОС, причем процесс предложено повторять циклически с периодом, равным периоду действия эффекта от каждой массивованной обработки.

Объект АВ₁₋₂ Кечимовского месторождения состоит из пласта АВ_{1/3} и АВ₂, фильтрационно-емкостные (ФЕС) свойства которых значительно отличаются друг от друга. Пласт АВ_{1/3} – низкопроницаемый, пласт АВ₂ – высокопроницаемый.

По результатам литофациального анализа пласт АВ_{1/3} формировался в мелководно-морских условиях трансгрессивного режима осадконакопления. Пласт АВ₂ представлен континентальными и переходными осадкообразованиями, которые характеризуются высокой литологической неоднородностью. В составе континентальных отложений пласта АВ₂ выделены два основных литотипа разреза. Первый литотип – русловые отложения, второй литотип – прирусловые отложения (пойменные). В результате гидродинамического моделирования выявлено отставание выработки нефти по прирусловой части пласта АВ₂. Именно по этой причине массивованному воздействию потокоотклоняющими технологиями подверглись отложения пласта АВ₂.

Следует отметить, что удельная эффективность единичных обработок нагнетательных скважин ПОС по данному объекту с 2013 по 2015 г. снизилась с 870 до 576 т/скв.-опер., соответственно. Внедрение массивованного воздействия на пласт позволило переломить эту тенденцию и сохранить эффективность работ в течение 2016–2017 гг. на уровне 550–570 т/скв.-опер. при увеличении количества обработок с 37 до 69 (+155 %). Данный факт доказывает преимущество массивованного воздействия ХМ ПНП над единичными обработками нагнетательных скважин.

Учитывая опыт и геолого-геофизические особенности объекта АВ₂ Кечимовского месторождения, были подобраны объекты с аналогичными проблемами на других месторождениях. В частности, рассмотрен объект БС₁₂ Тевлинско-Русскинского месторождения. В состав горизонта БС₁₂ входят два продуктивных гидродинамически связанных пласта БС₁₂₁ и БС₁₂₂, в каждом из которых выделено по одной залежи структурно-литологического типа. Разрез отложений представлен переслаиванием песчано-алевритовых разностей и глин. В пределах контура нефтеносности объект БС₁₂ разделен на 4 участка 1а, 1б, 2 и 3, различающихся внутренним строением горизонта БС₁₂. Основной причиной потери добычи нефти на объекте БС₁₂ является рост обводненности добываемой продукции. Анализ состояния разработки залежи позволил сделать вывод о неравномерной выработке запасов. При средней обводненности продукции скважин – 85,3 %, отбор от начальных извлекае-

мых запасов составляет 73,5 %. Учитывая геологическую неоднородность объекта БС₁₂, оценили выработку каждого участка. Наиболее благоприятные показатели выработки соответствуют участку 2. Неудовлетворительные показатели разработки характерны участку 1б.

Анализ прогнозного КИН по характеристикам вытеснения позволил сделать вывод о том, что проектный КИН будет достигнут лишь по участку 2. Участки 1б и 3 являются отстающими по показателю выработки запасов. Отставание от проектных показателей участка 1б связано с неравномерностью продвижения ВНК, а отставание участка 3 связано с прорывом закачиваемой воды. Участок 3 является наиболее перспективным для реализации мероприятий по массивированной закачке потокоотклоняющих составов. С целью уточнения источника опережающего обводнения выделили группу скважин, располагающихся на юге участка 3. Данные скважины принадлежат кустовым площадкам 48 и 51, участок выделяется высокой плотностью запасов (8,0 тыс. т/га) и высокой проницаемостью ($19,6 \cdot 10^{-3}$ мкм²). Характер выработки запасов нефти в пределах 48 и 51 кустовых площадок значительно ухудшает картину выработки всего участка 3. Значение отборов от НИЗ скважин кустов 48 и 51 ниже, чем по всему участку 3 (65,7 % против 77,2 %). Анализ результатов ПГИ показывает, что фильтрация закачиваемой в пласт жидкости осуществляется по кровельной части пласта в высокопроницаемые зоны, а подошвенная часть остается невыработанной.

С учетом всех вышеизложенных аргументов разработана программа по массивированной закачке потокоотклоняющих составов в южную часть участка 3 (район кустов 48 и 51). Закачкой ПОС планируется охватить все нагнетательные скважины выделенной фации пород-коллекторов в течение 1–2 месяцев для создания максимального объема потокоотклоняющего экрана и максимального перераспределения закачиваемой в пласт воды в нефтенасыщенные низкопроницаемые разности пород коллекторов.

УДК 622

УЧЕТ ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ

П. П. Повжик¹, Н. А. Демяненко², Н. П. Захарова³

¹РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

³Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»
в г. Тюмень, Российская Федерация

На эффективность нестационарного заводнения (НЗ) оказывает влияние ряд геолого-технологических факторов (И. Н. Шарбатова, М. Л. Сургучев (1988); В. Е. Гавура (1950); И. В. Владимиров (2004)).

К геологическим факторам относят:

– наличие слоисто-неоднородных пластов с хорошей гидродинамической связью между пропластками или блоковое строение с трещинами и блоками пористых коллекторов;

– хорошая гидродинамическая связь между добывающими и нагнетательными скважинами;

– площадное и блоковое сочетание коллекторов разного типа – высоко- и низкопродуктивных, приводящее к неравномерной выработке запасов при стационарном заводнении;

– достаточно высокие остаточные извлекаемые запасы нефти;

– средняя и высокая текущая обводненность реагирующих добывающих скважин;

– уровень текущего пластового давления, близкий к начальному.

К технологическим факторам отнесены:

– возможность регулирования в широком диапазоне режимов работы нагнетательного и добывающего фонда скважин;

– запас по забойному давлению у большинства реагирующих добывающих скважин, обеспечивающий их стабильную работу во время остановок нагнетательных скважин;

– большой реагирующий фонд добывающих скважин.

При разработке залежей породы-коллекторы подвергаются постоянному интенсивному различного рода воздействию, особенно в процессе выполнения ГТМ. На одних и тех же участках залежей одновременно с НЗ широко внедряются для повышения нефтеотдачи физико-химические технологии, гидроразрыв пласта, уплотнение сетки скважин бурением боковых стволов, горизонтальных и многоствольных скважин, реперфорация и приобщение интервалов и т. п. Анализ эффективности нестационарного заводнения на участках комплексного воздействия с одновременным проведением других ГТМ показал:

1. Если адресные обработки нагнетательных скважин потокоотклоняющими составами (ПОС) провели в период остановок нагнетательных скважин НЗ, то технологическая эффективность НЗ невысокая и наоборот, проведение химического воздействия на пласт более чем за 4 месяца до проведения НЗ дает хороший технологический эффект. Аналогичным образом небольшие периоды времени между химическими методами повышения нефтеотдачи и НЗ снижают эффективность НЗ.

2. Удельная эффективность НЗ на участках с ГРП максимальна при охвате ГРП не более 25 % добывающих реагирующих скважин. При увеличении охвата скважин участка НЗ ГРП более чем на 50 % и увеличении количества повторных операций ГРП эффективность НЗ снижается.

3. Дополнительные ГТМ (уплотнение сетки скважин бурением боковых стволов, горизонтальных и многоствольных скважин, реперфорация и приобщение интервалов и т. п.), направленные на увеличение конечного коэффициента извлечения нефти по месторождениям, проведенные в период между первой и последующими операциями нестационарного воздействия, положительно отразились на эффективности повторных НЗ, по-видимому, из-за подключения в разработку за счет выполненных ГТМ новых, слабо выработанных зон. Поэтому эффективность повторных НЗ увеличилась.

4. Эффективность НЗ во многом определяется особенностями геологического строения объектов разработки.

5. При планировании НЗ необходимо учитывать выполненные и планируемые к проведению операции по закачке ПОС, охват фонда скважин участка НЗ ГРП и другими видами ГТМ, а также особенности геологического строения объектов, на которых выбраны участки для НЗ.

Для проведения эффективного нестационарного заводнения необходимо обеспечить запланированные изменения приемистости нагнетательных скважин по участкам в каждом из полуциклов воздействия и интенсивность передачи импульса давления для формирования градиента давления между связанными низко- и

высокопроницаемыми пропластками, между блоками и трещинами, достаточного для активного проявления обменных процессов флюидом между низко- и высокопроницаемыми зонами. На интенсивность передачи импульса давления на пласт, в результате остановки или запуска нагнетательных скважин в полцикле, существенное влияние оказывают наличие в призабойной зоне кольматации порового пространства и наличие естественных или техногенных трещин ГРП. Чем больше процент нагнетательных скважин с закольматированной околоствольной зоной, от суммарного их количества, участвующих в операции НЗ, тем ниже удельная эффективность НЗ. При этом тем ниже значение передаваемого импульса на пласт при остановке нагнетательных скважин. В то же время остановка нагнетательных скважин, имеющих перед НЗ раскрытые трещины, приводит к их закрытию и снижению объемов добываемой воды, повышению рентабельности добычи нефти.

Комплексный анализ геологических и технологических факторов позволил обоснованно подойти к реализации нестационарного заводнения на месторождениях РУП «ПО «Белоруснефть». Разработана технологическая схема многоэтапного НЗ и критерии выбора объектов для ее реализации, которые включали:

- объемы подвижных остаточных извлекаемых запасов нефти, приходящихся на одну скважину действующего добывающего фонда не менее 10 тыс. т;
- состояние системы ППД (возможность регулирования объемов закачки воды в залежь в пределах 50 % от оптимальных, запас по приемистости нагнетательных скважин до 50 %, возможность перераспределения объемов закачки по участкам залежи);
- энергетическое состояние залежи (наличие запаса пластового давления для стабильной работы добывающего фонда скважин);
- наличие химических композиций для ПНП, адаптированных к термобарическим условиям конкретных залежей;
- виды и объемы выполненных ГТМ и их эффективность;
- состояние околоствольной зоны нагнетательных скважин и возможность интенсивной передачи импульса давления, достаточного для активного проявления обменных процессов флюидом между низко- и высокопроницаемыми зонами.

На основании разработанных критериев первоочередным объектом для реализации НЗ была подобрана семилукская залежь нефти восточного блока Тишковского месторождения. Технология многоэтапного НЗ реализована в течение 2014–2017 гг. В результате дополнительно добыто более 4500 т нефти. За период реализации НЗ прирост КИН составил 0,31 %. Экономический эффект получен в объеме 272 тыс. долл. США. С апреля 2017 г. начат второй повторный цикл работ по многоэтапному НЗ на семилукской залежи восточного блока Тишковского месторождения. Планируется полученный опыт НЗ расширить на семилукские залежи второго блока Восточно-Первомайского и Осташковичского, воронежско-саргаевскую залежь Вишанского месторождений.

УДК 622

ОПЫТ ПЛАНИРОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ООО «ЛУКОЙЛ – ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ»

Н. А. Демяненко¹, Н. П. Захарова², Е. Н. Мальшаков²

¹ Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

² Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»
в г. Тюмень, Российская Федерация

Состояние разработки большинства месторождений требует новых подходов к повышению нефтеотдачи пластов. В условиях высокой обводненности остаточные запасы удается вовлекать в разработку с помощью нестационарного заводнения (НЗ). Опыт применения данного вида воздействия на поздних стадиях разработки месторождений позволяет выявить условия эффективного применения метода.

Опытно-промышленные работы по НЗ, реализованные в различных геолого-физических условиях залежей, разрабатываемых в условиях обычного заводнения, показали его эффективность на всех месторождениях Западной Сибири.

Начиная с 2013 г., опытно-промышленная реализация НЗ осуществлялась на 251 опытных участках 36 месторождений Западной Сибири.

В последние годы на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» наиболее массово начали применять НЗ пластов [1].

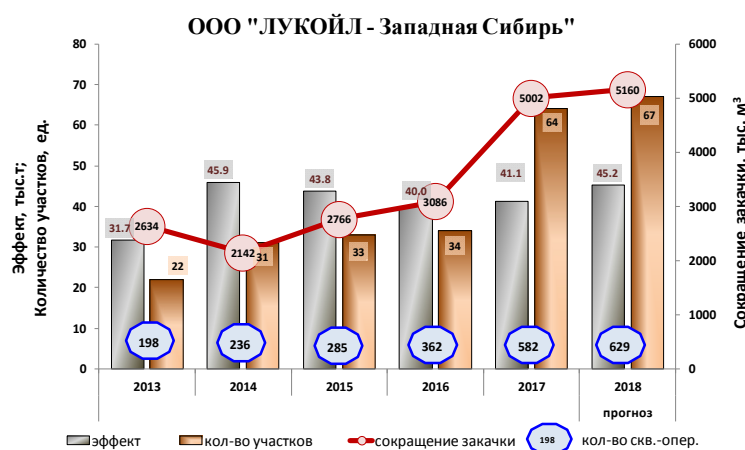


Рис. 1. Динамика применения нестационарного заводнения в 2013–2018 гг. на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь»

Большинство месторождений характеризуется сложным геологическим строением, многопластовостью, наличием непроницаемых пропластков (степень расчлененности – от 4 до 11), слоистой и зональной неоднородностью, высокой начальной водонасыщенностью, низкой проницаемостью, наличием интервалов разреза с повышенной глинизацией. По перечисленным признакам значительная часть месторождений относится к категории объектов с трудноизвлекаемыми запасами.

Проблемы, возникающие при реализации НЗ, обусловлены недостаточной изученностью ряда технологических вопросов, таких как: влияние методов, направлен-

ных на интенсификацию отборов жидкости в период остановки нагнетательных скважин на эффективность НЗ; изменение приемистости работающих нагнетательных скважин на показатели реагирующих добывающих скважин; влияние изменения энергетического состояния объекта на работу горизонтальных скважин; повторные НЗ.

Эффективность применения НЗ определяется обоснованностью выбора участка воздействия. Важнейшим критерием применения НЗ является параметр геологической благоприятности, определение которого выполняется на четырехслойной геолого-статистической модели пласта. Параметр показывает наличие гидродинамической связанности между высоко- и низкопроницаемым пропластками (методика, разработанная в ООО «КогалымНИПИнефть») [2]. Оценивается наличие и величина остаточных запасов нефти, проводится анализ текущего состояния разработки с использованием данных ПГИ, а также ГДИС. Составляется программа проведения НЗ. Важным аргументом при обосновании проведения НЗ являются опыт и выводы, полученные при мониторинге и анализе ранее проведенных мероприятий по НЗ.

Так, например, в работе [3] проведен анализ особенностей проведения НЗ и влияние различных геолого-технических мероприятий на его эффективность:

1. Анализ эффективности НЗ на участках комплексного воздействия с ФХМУН показал, что если адресные обработки нагнетательных скважин ПОС провели в период остановок нагнетательных скважин НЗ, то технологическая эффективность обоих методов не высокая и наоборот, проведение химического воздействия на пласт более чем за 4 месяца до проведения НЗ или после его проведения дает хороший технологический эффект и от ФХМУН, и от НЗ.

2. Удельная эффективность НЗ на участках с ГРП максимальна при охвате ГРП не более 25 % добывающих реагирующих скважин. При увеличении охвата скважин участка НЗ ГРП более чем на 50 %, и увеличении количества повторных операций ГРП эффективность НЗ снижается.

3. Дополнительные ГТМ, направленные на увеличение конечного коэффициента извлечения нефти по месторождениям, проведенные в период между первой и последующими операциями нестационарного воздействия, положительно отразились на эффективности повторных НЗ, по-видимому, из-за подключения в разработку за счет выполненных ГТМ новых, слабо выработанных зон. Поэтому эффективность повторных НЗ увеличилась.

4. Эффективность НЗ во многом определяется особенностями геологического строения объектов разработки.

Также в работе [4] рассмотрены подходы к эффективному планированию нестационарного заводнения (НЗ) на примере месторождений ТПП «Повхнефтегаз». Показано, что по кривым падения давления и графикам Холла можно оценить состояние призабойной зоны нагнетательных скважин. Это позволяет своевременно провести необходимые мероприятия для подготовки скважин к эффективной реализации НЗ, снизить риски неэффективной закачки. Предлагается в дальнейшем при составлении программы для проведения нестационарного заводнения использовать предложенные подходы для повышения эффективности НЗ.

Таким образом, комплексный анализ геологических и технологических факторов позволяет обоснованно подойти к реализации НЗ. Предложенные мероприятия будут способствовать эффективной реализации технологии НЗ и улучшению текущего состояния разработки объектов в границах исследуемых участков.

Литература

1. Арефьев, С. В. Основные направления повышения эффективности разработки месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / С. В. Арефьев // Проблемы нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности : сб. докл. четвертой науч.-практ. конф. посвящ. 20-летию «КогалымНМППМнефть», Тюмень, 24–26 окт. 2016 г. – Тюмень, 2017. – С. 20–26.
2. Гуляев, В. Н. Применение технологии нестационарного воздействия для увеличения КИН участков с трудноизвлекаемыми запасами / В. Н. Гуляев, И. И. Киприн, Н. П. Захарова // Геология, геофизика нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 10. – С. 39–44.
3. Особенности влияния геолого-технических мероприятий на эффективность повышения нефтеотдачи с применением нестационарного (циклического) заводнения / М. Р. Дулкарнаев // Нефтепромысловое дело. – 2018.
4. Захарова, Н. П. О подходах к обоснованию нестационарного заводнения на примере месторождений ТПП «Повхнефтегаз» / Н. П. Захарова, Н. А. Демяненко, Р. Ф. Мазитов // Сб. тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. в рамках IX Тюмен. Нефтегазового Форума, Тюмень, 19–20 сент. 2018 г.

УДК 622.276(476)

**ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ НЕФТЕГАЗОПРОВОДНЫХ ТРУБ ДЛЯ УСЛОВИЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ НЕФТЕГАЗОСБОРА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУП «ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ «БЕЛОРУСНЕФТЬ»**

В. О. Кученев¹, А. С. Асадчев², А. Г. Ракутько¹

¹РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Коррозия нефтепромыслового оборудования месторождений Республики Беларусь, обусловлена наличием таких факторов, как высокая обводненность добываемой продукции, низкие значения рН (кислые среды), высокая минерализация, температура, присутствие агрессивных компонентов (сероводород H₂S и углекислый газ CO₂). Количество порывов трубопроводов по причине внутренней коррозии в системе ППД и системе НГС составило 201 шт. за 2017 год. Затраты на ликвидацию порывов, простои, связанные с остановкой и ремонтом трубопроводов, составляют порядка 9,88 млн р/год.

В данной статье применение трубопроводов различного материального исполнения, конкретно из различных марок сталей. Это предложение направлено на:

- увеличение сроков службы трубопроводов;
- снижение затрат на ремонты;
- уменьшение или даже полный отказ от применения традиционных методов защиты, таких как ингибиторные обработки, покрытия различного назначения, протекторная или электрохимическая защита.

Для исследований выбрали несколько вариантов материалов, традиционно применяющихся для изготовления линейных нефтегазопроводных трубопроводов: сталь марки 13ХФ; сталь 20КТ; сталь 20А; сталь 20; сталь 09Г2С.

Химический состав, механические свойства сталей приведены в табл 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

Марка стали	Содержание элементов, % (мас. %)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ni	Cu	V	N	As
20	0,21	0,27	–	0,008	0,005	0,08	0,029	0,05	–	–	–	–
20КТ	0,22	0,20	0,48	0,011	0,004	0,10	–	0,13	0,23	0,003	–	0,007
20А	0,23	0,23	0,53	0,012	0,004	0,13	0,019	0,12	0,19	0,002	–	0,002
13ХФА	0,14	0,25	0,53	0,006	0,003	0,53	0,038	0,09	0,18	0,044	0,0068	0,005
09Г2С	0,11	0,53	1,34	0,008	0,006	0,06	0,024	0,12	0,21	0,005	0,0076	0,006

Коррозионные стендовые испытания выполнены на оборудовании «АА-КОНКОР», позволяющем моделировать фактические условия эксплуатации трубопроводов.

Испытаний коррозионной стойкости различных материалов проводились в условиях транспорта продукции скважины 191 Южно-Осташковичского месторождения. Попутно-добываемая вода Южно-Осташковичского месторождения скв. 191, является типичной водой, добываемой совместно с нефтью на нефтяных месторождениях Республики Беларусь. По классификации Сулина относится к хлоркальциевому типу, в продукции содержится агрессивный кислый углекислый газ (22 мг/л), сероводород отсутствует, водородный показатель равен 6,1, минерализация составляет 204,4 г/л. Физико-химические свойства воды приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические свойства воды

Наименование	Содержание компонентов: мг/л; мг-экв/л; %-экв									
	СГ	НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	H ₂ S	Fe _{общ}	Fe ²⁺	CO _{2раст}
Скв. 191 Ю-Ост.	120564,0	112,2	386,0	16032,0	2733,8	54839,4	0,0	14,9	0,5	22,0

Коррозионные испытания проводились при следующих условиях: скорость потока – 0,25 м/с, давление – 1,1 МПа; температура потока – 30 °С. Скорость потока, температура потока и давление в контуре были выбраны на основании фактических промысловых данных. Для контроля над изменением параметров рабочей среды в начале эксперимента, и в конце эксперимента отбирались пробы для определения содержания растворенного углекислого газа и сероводорода. Время испытаний составляет 3 сут.

Испытания проводились на трех образцах-свидетелях, установленных на горизонтальном участке циркуляционного контура. Скорость коррозии оценивалось гравиметрическим методом. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты определения скорости коррозии сталей марок
20А, 20КТ, 13ХФА; 09Г2С**

Образцы	Средняя скорость коррозии, г/м ² · ч	Средняя скорость коррозии, мм/год
20	0,36	0,4
20А	0,39	0,45
20КТ	0,59	0,66
13ХФА	0,62	0,70
09Г2С	0,16	0,19
	0,17	0,19

По результатам полученных данных был построен график скорости коррозии труб различных марок стали, представленный на рис. 1.

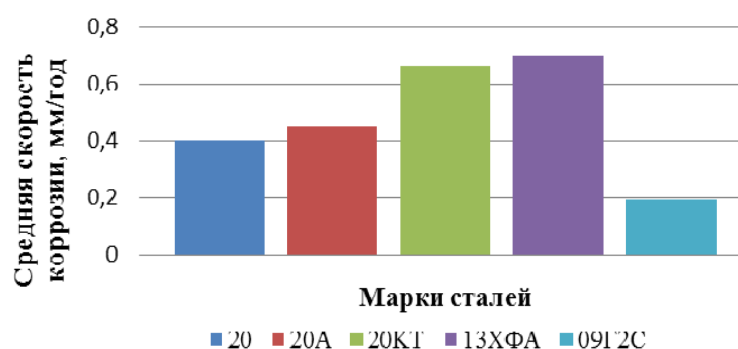


Рис. 1. Скорость коррозии труб различных марок стали марки

Как видно из графика, стали марок 20 и 20А показали схожие значения, их скорость коррозии находится на уровне 0,40 мм/год. Стали марок 20КТ и 13ХФА имеют наибольшую скорость коррозии – 0,70 мм/год. Сталь марки 09Г2С показала наилучшее сопротивление, ее скорость коррозии составила 0,19 мм/год.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- установлено, что стали различного материального исполнения имеют различную коррозионную стойкость при одинаковых условиях испытания;
- наименьшая скорость коррозии установлена для стали марки 09Г2С;
- коррозионная стойкость стали марки 09Г2С в данных условиях испытания обеспечивается за счет низкого содержания углерода в сочетании с микроструктурой стали феррит + пластинчатый перлит, что препятствует росту межкристаллической коррозии;
- по сравнению с типичными, применяемыми в настоящее время трубопроводами из стали марки 20, при условии применения трубопроводов из стали марки 09Г2С их срок эксплуатации может быть увеличен в два раза.

Литература

1. Жук, Н. П. Коррозия и защита металлов / Н. П. Жук. – М. : Машгиз, 1957. – 328 с.

2. Маркин, А. Н. Нефтепромысловая химия : практ. рук. / А. Н. Маркин, Р. Э. Низамов, С. В. Суховерхов. – Владивосток : Дальнаука, 2011. – 288 с.
3. Воробьева, Г. Я. Коррозионная стойкость материалов / Г. Я. Воробьева. – М. : Химия, 1975. – 816 с.
4. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.

УДК 622.276.72

АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Я. А. Майлат¹, В. С. Горбаченко², Н. А. Демяненко¹

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
НГДУ «Речицанефть», г. Гомель*

Основную долю добычи в НГДУ «Речицанефть» составляют парафинистые (до 77 % от всего объема) и высокопарафинистые нефти (до 23 %), а также нефти, содержащие значительное количество асфальтосмолистых веществ (до 40 %). В большинстве случаев, если не применяются технологии предупреждения образования асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) на добывающих скважинах, то сокращается межочистной (МОП) и межремонтный (МРП) периоды их работы. Интенсивное образование АСПО может привести к полному перекрытию подземных насосных труб и кольцевого канала в затрубном пространстве, что приводит к прекращению рациональной работы оборудования, следствием чего может быть проведение тепловых технологических обработок, связанных с закачкой больших объемов горячей воды, с целью разогрева отложений на скважинном оборудовании и достижения дальнейшей циркуляции пластового флюида по транспортировочным трубам. Если не получается достичь полноценной циркуляции, то прибегают к проведению подземных ремонтов скважин, направленных на депарафинизацию или полную замену подземного скважинного оборудования, что приводит к большим экономическим затратам. Поэтому для НГДУ «Речицанефть» направление по борьбе с АСПО является наиболее важным и перспективным в процессе добычи нефти.

В области борьбы с АСПО выделяют три основных метода.

Механический способ основан на прямом физическом воздействии на уже образовавшиеся отложения на рабочей поверхности скважинного оборудования. Для добывающих скважин, оборудованных установкой штангового глубинного насоса (УШГН), применяют скребки-центраторы, которые монтируются непосредственно на штангах. На текущий момент подавляющее большинство ШГН-скважин НГДУ «Речицанефть» оборудованы штангами с винтовыми скребками-центраторами. Производство винтовых скребков поставлено на поток, их наплавка на штанги диаметром 19 и 22 мм производится на специализированных машинах в ПУ «Нефтебурсервис». Для центровки колонны штанг скребок оказался весьма эффективным, так как за последние 5–7 лет значительно сократились отказы скважин по причине обрыва штанг вследствие их истирания. В настоящее время количество скважин, на которых используются винтовые скребки-центраторы, интенсивно растет. На скважинах, оборудованных УЭЦН, используют скребки с выдвигными но-

жами, привод которых может быть, как механический, так и автоматизировано-электрический. Скребки с автоматизированным приводом проходят опытно-промышленные испытания. Использование скребков в процессе их испытания позволило достичь значительного технико-экономического эффекта.

Термический способ борьбы с АСПО направлен на разогревание возможных образований АСПО, что приводит к разрушению соединений между составляющими АСПО компонентами. Для разогрева уже образовавшихся отложений на рабочей поверхности скважинного оборудования используют горячую нефть или горячую технологическую воду, а также количество теплоты, генерируемое спущенным в скважину греющим кабелем.

В 2017 г. объем закачанной горячей нефти снизился практически в 5 раз по сравнению с 2005 г. (51 тыс. м³) и составил 11,8167 тыс. м³, что на 5,5 % ниже аналогичного показателя в 2016 г. Снижение объемов было обусловлено переводом ряда скважин на дозированную подачу нефтехимии и на обработки горячей водой с ПАВ Нефтенол МЛ.

Начиная с 2013 г. прослеживается тенденция увеличения количества технологических обработок скважин горячей водой. Объем закачанной горячей воды в 2017 г. составил 77,328 тыс. м³, что на 2,651 тыс. м³ больше аналогичного показателя 2016 г. (74,677 тыс. м³/год). Увеличение объемов обработок обусловлено оптимизационными мероприятиями по переводу скважин с обработок горячей нефтью на горячую воду, изменением МОП и объемов обработок, а также назначением обработок горячей водой по скважинам, введенным из бурения.

Нашли широкое применение и показали себя эффективными обработки горячей водой для депарафинизации скважинного оборудования с применением ПАВ Нефтенол МЛ. На текущий момент этот вид обработок проводится более чем на 40 скважинах РУП «ПО «Белоруснефть» НГДУ «Речицанефть», осложненных АСПО.

На трех скважинах была внедрена технология электропрогрева скважин греющим кабелем для профилактики образования АСПО, что позволило полностью отказаться от проведения других термических технологических обработок на этих скважинах.

Химический способ борьбы связан с дозированием специального химического реагента в нефтяную дисперсную среду, при взаимодействии которого с уже сформировавшимися отложениями или с активными центрами кристаллизации, происходит растворение или замедление процесса формирования отложений на поверхности скважинного оборудования. Ингибиторы дозируются в концентрациях от 200 до 1000 грамм на тонну нефти. Дозирование нефтехимии осуществляется по ВНТ, или нефтехимия подается в затрубное пространство на динамический уровень.

В качестве химических реагентов, используемых на добывающих скважинах НГДУ «Речицанефть» для предупреждения и борьбы с АСПО, наибольшее распространение получили: ингибитор СНПХ-7941, диспергатор Колтек ДН3130 и растворитель СГБ.

В 2017 г. было проведено 956 обработок реагентом СГБ, объемом 3079,917 т. Сокращение объемов обработок на 8,9 % обусловлено активным внедрением нефтехимии на скважинах в связи с дороговизной реагента, переводом скважин на обработки горячей водой в связи с ростом обводненности продукции и увеличением МОП на некоторых скважинах.

В процентном соотношении обработки скважин СГБ составили 1,7 %.

В 2015 г. был предложен компаундированный растворитель КР-01 как альтернатива СГБ для удаления АСПО с подземного оборудования. В процессе разработки

и лабораторных испытаний КР-01 в отношении АСПО показал эффективность на 10–25 % выше базового растворителя СГБ. По работам, проведенным с КР-01, в 2015–2017 гг. отказов подземного оборудования скважин по причине запарафинивания в процессе продолжения ОПИ не отмечено, по 5 из 6 скважин отмечается стабильная работа подземного оборудования в процессе ОПИ.

Как показал многолетний опыт использования нефтехимии, внедрение реагентов целесообразно как с технологической, так и с экономической точки зрения. В настоящее время ведется поиск и испытание новых химических реагентов для уменьшения образования АСПО на стенках подземных труб и кольцевых каналов в затрубном пространстве для уменьшения простоев скважин, потерь нефти и затрат на подземный ремонт скважин.

УДК 622.276(476)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАСОЛОНЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**В. Д. Порошин¹, А. В. Халецкий², С. И. Гримус²,
С. Л. Порошина¹, С. В. Козырева¹**

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель*

Нефтяные месторождения Республики Беларусь залегают в засоленных коллекторах (Р. С. Сахибгареев (1974), Г. Н. Гурьянов, Р. С. Сахибгареев (1976), В. Л. Тюменцев (1977, 1980), А. А. Махнач (1980, 1989)). Способность галита, полностью или частично заполняющего продуктивные коллекторы, растворяться при взаимодействии с закачиваемыми для ППД водами, приводит к существенному изменению емкостных и фильтрационных свойств продуктивных пород в процессе разработки нефтяных залежей. Это свидетельствует о необходимости всестороннего изучения данного процесса и учета особенностей его проявления при проведении поисково-разведочных работ, подсчете запасов нефти, анализе, контроле, моделировании и регулировании разработки нефтяных залежей (В. Д. Порошин, В. В. Муляк (2004), В. Г. Жогло (2013)).

В последние годы вопросу особенностей разработки нефтяных месторождений с засоленными коллекторами большое внимание уделяют научные центры ведущих российских нефтяных и газовых компаний (Роснефть, Газпром, Сургутнефтегаз, Газпромнефть) с привлечением ученых и специалистов РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, ВНИГРИ, ВНИГНИ и др. в связи с освоением нефтяных и газовых месторождений Восточной Сибири (И. А. Виноградов и др. (2013), Е. А. Рыжов (2013), В. А. Гринченко (2013), Б. А. Григорьев и др. (2014), В. С. Воробьев и др. (2017)). Специалистами данных компаний и организаций разработаны и внедрены промыслово-геофизические методы оценки степени засоленности коллекторов (Г. М. Золоева и др. (2009), Т. Ф. Дьяконова (2011), А. В. Городнов и др. (2012)), проведены многочисленные лабораторные исследования по влиянию процессов рассоления на емкостные и фильтрационные свойства карбонатных и терригенных коллекторов (И. А. Кальвин (1990), И. А. Виноградов (2013)), предложены методические подходы по учету

полученных результатов при подсчете запасов нефти и разработке нефтяных месторождений (А. Чиргун и др. (2017), В. А. Гринченко (2013)).

Гидрохимические исследования, проводимые в БелНИПИнефть позволили установить масштабы галитизации продуктивных пород в пределах большинства разрабатываемых белорусских залежей нефти, построить карты избыточного содержания хлористого натрия в попутно добываемых водах и объемов вынесенного галита (В. Д. Порошин (1996–2008)). Как показывают результаты исследований В. Г. Жогло, С. И. Гримус, А. В. Халецкого и др. (2011–2018), без учета результатов этих исследований невозможно построить достоверные геолого-гидродинамические модели залежей.

Влияние процесса рассоления на разработку нефтяных месторождений можно оценить используя особенности построения численных гидродинамических моделей Березинского, Золотухинского, Осташковичского и некоторых других месторождений. Многочисленные попытки воспроизвести на этих моделях историю разработки путем корректировки проницаемости пласта, сжимаемости воды и породы, изменения объема законтурной водоносной области и степени ее гидродинамической связи с нефтяной залежью закончились безрезультатно. Улучшить результаты удалось лишь после многократного увеличения проницаемости региональных зон трещиноватости между добывающими и нагнетательными скважинами, что было обосновано протекавшим процессом рассоления коллектора. Следует отметить, что только учет влияния процесса рассоления пород-коллекторов на изменение их фильтрационно-емкостных свойств в залежи и на ВНК позволил воспроизвести на моделях залежей историю эксплуатации добывающих скважин, а значит построить более достоверные гидродинамические модели.

Проницаемость засоленного коллектора может быть значительно увеличена за счет растворения галитовых выделений и выноса продуктов растворения из пласта вместе с попутно добываемой водой. Такого результата можно достичь путем закачки пресной или слабоминерализованной воды в засоленный нефтенасыщенный коллектор и последующего отбора жидкости из пласта через эту же скважину. Апробация основанного на этом принципе способа повышения проницаемости засоленных коллекторов (В. Г. Жогло и др. (2015)) на двух скважинах Березинского месторождения позволило увеличить их дебит в 10 и более раз и получить значительный экономический эффект в виде дополнительной добычи нефти. Внедрение данной технологии предусматривается еще на ряде скважин [1].

В настоящее время в различных геологических документах и материалах при описании продуктивных горизонтов приводятся сведения о наличии в породах галитовых включений пор, трещин и каверн. По разрабатываемым месторождениям отмечается значительное содержание в попутно добываемых с нефтью водах избыточного количества хлористого натрия, что связывается с процессом растворения галитовых выделений, начаты лабораторные исследования процессов рассоления продуктивных пород-коллекторов (А. А. Тишков и др. (2018)). Однако более обстоятельно засоленные коллекторы, как правило, не изучаются. Поэтому необходимо отметить, что закономерности локализации вторичного галита в пределах белорусских нефтяных залежей изучены явно недостаточно, что связано, как нам представляется, с отсутствием комплексной программы исследований по данной проблеме на республиканском и отраслевом уровнях [2].

Детальный анализ, обобщение теоретических разработок и накопленного опыта использования результатов исследования засоленных коллекторов российскими и белорусскими специалистами позволяют предложить комплексную программу

проведения аналогичных исследований на нефтегазопроисловых объектах, разведываемых и разрабатываемых месторождениях Припятского прогиба. Комплексная программа предусматривает проведение работ в разных направлениях исследований: нефтепоисковой и нефтепромысловой геологии и гидрогеологии, промысловой и полевой геофизике, бурении, разработке и моделировании разработки нефтяных месторождений, лабораторных исследований, повышении нефтеотдачи пластов и др. При этом в отдельных направлениях исследований, как отмечалось выше, имеется ряд серьезных наработок белорусских специалистов (нефтепромысловая гидрогеология, моделирование разработки, повышение проницаемости засоленных пластов), в других же направлениях этими вопросами белорусские специалисты практически не занимались. Такое состояние дел с изученностью рассматриваемой проблемы сдерживало дальнейшее ее развитие и реализацию ранее полученных результатов исследований на практике. Комплексное исследование проблемы позволит в значительной степени устранить существующий пробел и выдвинуть РУП «ПО «Белоруснефть» в лидеры нефтяных компаний, обладающих компетенцией – «Особенностями рациональной разведки и разработки нефтяных залежей с засоленными коллекторами».

Л и т е р а т у р а

1. Повжик, П. П. Внедрение методики по применению адресных технологий разработки труднозвлекаемых запасов – путь к увеличению ресурсной базы РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» / П. П. Повжик, А. Н. Цыбранков, А. П. Стельмашок // Нефтяник Полесья. – 2018. – № 2 (34). – С. 76–85.
2. К проблеме разработки залежей нефти в засоленных коллекторах (на примере нефтяных месторождений Припятского прогиба и Сибирской платформы) / П. П. Повжик [и др.] // Літасфера. – 2018. – № 1 (48). – С. 38–49.

УДК 550.832

ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА ПРОМЫСЛОВО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В. Д. Порошин¹, Б. А. Дубинин², И. В. Качура², И. С. Шепелева¹

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель*

Под засоленными коллекторами понимаются горные породы, пустотное пространство которых частично заполнено вторичным галитом. При взаимодействии с закачиваемыми для поддержания пластового давления в нефтегазонасыщенные пласты пресными или слабоминерализованными водами галит интенсивно растворяется. В результате этого емкостные, фильтрационные и другие петрофизические свойства пород претерпевают существенные изменения, что необходимо учитывать при освоении скважин, подсчете запасов УВ, контроле, моделировании и регулировании разработки месторождений нефти и газа. На территории Беларуси засоленные породы широкое распространение получили в подсолевых, межсолевых и внутрисолевых отложениях девона и верхнего протерозоя Припятской нефтегазоносной области, на территории Российской Федерации – в подсолевых отложениях венда и нижнего кембрия Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции.

Данные о наличии засоленных коллекторов в Припятском прогибе известны с начальных этапов освоения региона. Первые сведения об этом опубликованы Р. С. Сахибгареевым и В. А. Тюменцевым (1974–1980 гг.). В последующие годы наиболее полно вопросы засоления коллекторов рассмотрены в работах А. А. Махнач. Гидрохимические исследования, проводимые одним из авторов данной статьи, начиная с девяностых годов прошлого века, позволили установить масштабы галитизации продуктивных пород в пределах разрабатываемых залежей нефти, а также оценить объемы растворенных в продуктивных пластах и вынесенных с попутными водами галитовых включений как по отдельным скважинам, так и по залежам нефти в целом. Однако более обстоятельно засоленные коллекторы, как правило, не исследуются. Поэтому закономерности локализации вторичного галита в коллекторах белорусских нефтяных месторождений изучены явно недостаточно, что связано с отсутствием целенаправленных программ исследований по данной проблеме на республиканском и отраслевом уровнях и прежде всего по вопросу создания петрофизических моделей засоленных коллекторов, разработки и внедрения промыслово-геофизических методов их выделения.

В последние годы с многочисленными проблемами, связанными с разведкой и разработкой залежей УВ в засоленных коллекторах Восточной Сибири, столкнулись специалисты ряда российских нефтегазовых компаний. В России эти проблемы начали активно обсуждаться в периодической печати в связи с началом эксплуатации Верхнечонского, Ярактинского, а также с подготовкой к разработке уникального по запасам Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения. В целях изучения возникших проблем специалистами крупнейших нефтегазовых компаний Российской Федерации с привлечением результатов исследований специалистов ОАО «Иркутскгеофизика», ЦГЭ, ТННЦ, РГУНГ им. И. М. Губкина, ВНИГРИ, ВНИГНИ, СибНИИИП, СибНИИГГиМС, других научных, учебных и производственных центров ведутся работы по выделению засоленных коллекторов и оценке их качества с помощью специально для этого разработанных методов интерпретации промыслово-геофизических данных.

Прежде всего были предложены и внедрены в практику лабораторных исследований методы определения степени засоления образцов пород, проведены массовые определения этого показателя, а также ряда других петрофизических параметров на керне из различных месторождений, разработаны и апробированы методы изучения засоленных коллекторов различными промыслово-геофизическими методами. Результаты этих исследований свидетельствуют о существенном увеличении емкостных (в разы) и фильтрационных (на 1–3 порядка) свойств пород в процессе их рассоления, а также о завышении имевшихся промыслово-геофизических заключений по пористости засоленных пород (в среднем на 1,4 % абс.), что было вызвано определением этого показателя на частично либо полностью отмытых образцах керна. Впервые установлено, что граничные значения пористости незасоленных коллекторов кратно превышают таковые значения засоленных, так как при галитизации тупиковых и боковых пор, где фильтрации флюида не происходит, либо она замедляется, остаются каналы активной фильтрации.

Массовые лабораторные исследования керна способствовали созданию петрофизических моделей засоленных участков, разработке методов промыслово-геофизических исследований по выделению зон и интервалов галитизации [1]. Использование этих методов позволило установить закономерности локализации галита в поровом пространстве, построить схемы и карты распространения засоленных коллекторов по основным продуктивным горизонтам для ряда крупных месторожде-

ний УВ, произвести и утвердить в Государственной комиссии по запасам результаты подсчета отдельно по участкам распространения засоленных пород и зонам отсутствия галита в поровом пространстве. Полученные материалы привели к существенной корректировке существовавших геологических моделей залежей [2].

Детальный анализ, обобщение теоретических разработок и накопленного опыта использования промыслово-геофизических данных для выделения и оценки качества засоленных коллекторов Российскими нефтегазовыми компаниями при проведении геологоразведочных работ, подсчете запасов нефти и газа, создании и постоянной корректировке геологических и гидродинамических моделей залежей УВ Восточной Сибири позволяют наметить программу проведения аналогичных исследований по одной из белорусских нефтяных залежей. Программа предусматривает разработку методики и проведение керновых исследований засоленных пород, построение петрофизической модели и разработку методики интерпретации промыслово-геофизических данных по выделению и оценке качества засоленных коллекторов Припятского прогиба, а также последующую апробацию этой методики на конкретных нефтегазопроисловых объектах, разведываемых и разрабатываемых залежах нефти.

Имеющиеся в РУП «ПО «Белоруснефть» лабораторная база по исследованию керна, промыслово-геофизическое оборудование и проведенный комплекс промыслово-геофизических исследований на ряде нефтяных месторождений позволяют приступить к реализации данной программы в 2019–2020 гг. Внедрение результатов планируемых исследований будет способствовать расширению сырьевой базы РУП «ПО «Белоруснефть» за счет открытия новых месторождений и залежей, прироста площади нефтегазоносности и эффективной нефтенасыщенной мощности на открытых месторождениях, а также построению более достоверных геологических моделей нефтяных залежей, наиболее адекватно отображающих реальное строение продуктивных пластов.

Л и т е р а т у р а

1. История развития петрофизической модели верхнечонского горизонта / Н. В. Щетинина [и др.] // Науч.-техн. вестн. ОАО «НК «Роснефть». – 2015. – № 3. – С. 30–38.
2. Теория и практика разработки сложнопостроенных коллекторов Восточной Сибири на примере Верхнечонского месторождения / А. Чиргун [и др.] // Доклад SPE-189301-RU. – 2017. – 42 с.

УДК 621

КОМПЛЕКС ТРИБОАКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

И. В. Войтов, А. Р. Цыганов, А. Г. Капсаров, С. О. Мамчик

*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск*

Использование ультразвуковых технологий в процессах добычи нефти, ее подготовки к переработке и производстве нефтепродуктов на основе изменения реологических свойств нефти [1]–[4] является одним из перспективных направлений для целей оптимизации добычи и переработки нефти. Применение ультразвуковых технологий применительно к обработке органополимеров и гранулированных сред в настоящее время основаны на использовании внешнего источника ультразвука [5], [6]. Рабочими органами таких систем являются плоские либо стержневые излучатели. Технологические эффекты происходят, как правило, в контактной зоне излучателя

без непосредственного контакта рабочих тел (пластин, стержней, специальных накопителей). Жидкий флюид, механические примеси и гранулированные частицы при этом обрабатываются в нерегулируемых объемах устройств и при мощности, не превышающей энергию деструкции высокомолекулярных нефтей.

Проблемой промышленного применения высокочастотных колебаний в нефтедобыче и нефтепереработке является то, что установки подготовки нефти на основе стандартных источников ультразвука с традиционными (пьезо- и магнито-стрикционными) преобразователями с частотой 16–18 кГц характеризуются малой производительностью.

Целью исследования явилось создание промышленного комплекса разложения водонефтяных эмульсий, основанного на использовании низкочастотной кавитации и акустомеханических эффектов на основе граничного трения и параметрического возбуждения излучателей.

Разработаны устройства введения высокочастотных колебаний в корпус для измельчения вязких [7] и гранулированных [8] сред, позволяющих получать контактную зону непосредственно на поверхности структурных единиц обрабатываемой массы с ее ограничением на контртелах, также возбуждаемых на трении (система излучатель–резонатор) либо на других взаимно симметричных системах.

Разработанное устройство – трибосонореактор, воздействуя на сырую нефть (гранулированную среду), обеспечивает:

- деструкцию гранулированных сред специальными перфорированными дисками с прослойками измельчаемого гранулята с последующим отделением воды;
- получение качественно измененного продукта в результате термомеханической высокочастотной диспергации;
- качественно измененную схему передачи генерируемой энергии.

Устройство трибосонореактора содержит тарельчатые, самоустанавливающиеся, выпукло-вогнутые резонаторы, в виде соосных дисков, поверхности которых соприкасаются в зонах фактического и контурного касания.

Высокочастотный резонатор с радиальными прорезями при этом контактирует с оппозитными ему плоскими спиралями на внутренней стенке излучателя. Осевые зазоры между контактной поверхностью излучателя и контртелом суммарно не превышают разности размеров структурных единиц гранулированной среды между максимальной на входе и минимальной на выходе из реактора. При этом реализован принцип превышения скорости распространения звуковой волны (2000–6000 м/с) в исполнительном органе над скоростью механического перемещения поверхности движителя.

Дополнительно к кавитационным эффектам трибосонореактор позволяет использовать высокочастотный удар, трибоакустическое диспергирование, импульсный термомеханический нагрев. При этом измельчаемый продукт одновременно подвергается механическому, кавитационному и термическому воздействию.

Частотный диапазон процесса 150–20000 Гц. Кавитационное (наносекундное) давление достигает 20000 атм. Получаемые фракции (0,001–0,5 мм) участвуют в механоактивированных химических реакциях. Передача мощности при этом происходит через разлагаемую массу и выступающие гранулы с эффектом избирательного калибрования выступающих частиц гранулята.

Производительность опытного устройства – 2–5 т водонефтяной эмульсии в час.

В устройстве разрушаются структурные единицы водонефтяной эмульсии без применения деэмульгаторов. Подготовительные операции предусматривают грубое измельчение либо отделение загрязнений. Далее процесс разделения водонефтяных эмульсий наблюдается непосредственно по выходу из реактора с последующим одномоментным разделением фаз.

Трибосонореактор является основным рабочим органом комплекса трибоакустической обработки водонефтяных эмульсий. Он обеспечивает обработку как водонефтяных эмульсий, так и нефтешламов любой степени засоренности и высоковязких нефтей безотносительно к верхнему пределу вязкотекучести и механической прочности (твердые парафины, гач).

Комплекс трибоакустической обработки водонефтяных эмульсий предусматривает емкости накопителя и приемную емкость, технологическую арматуру на основе труб внутренним диаметром 100 мм, клиновые задвижки и герметизирующие прокладки на основе паронита.

Разработка предусматривает возможность увеличения дебита скважин и обеспечение их рентабельности, включая скважины с тяжелой нефтью, а также возможность глубинного разогрева пласта, распарафинивания ствола скважины.

Л и т е р а т у р а

1. Mousavi, S. M. Effect of ultrasonic irradiation on rheological properties of asphaltenic crude oils / S. M. Mousavi, A. Ramazani, I. Najafi, S. M. Davachi // *Petroleum Science*. – 2012. – Vol. 9, № 1. – P. 82–88.
2. Ануфриев, Р. В. Влияние ультразвука на структурно-механические свойства нефтей и процесс осадкообразования / Р. В. Ануфриев, Г. И. Волкова // *Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов*. – 2016. – Т. 327, № 10. – С. 50–58.
3. Исследование воздействия ультразвуковой обработки и химических реагентов на реологические свойства нефти Лузановского месторождения / М. С. Муллакаев [и др.] // *Нефтепереработка и нефтехимия*. – 2011. – № 11. – С. 23–28.
4. Верховых, А. А. Обзор работ по воздействию ультразвука на нефтяные системы / А. А. Верховых, А. К. Вахитова, А. А. Елпидинский // *Вестн. технол. ун-та*. – 2016. – Т. 19, № 8. – С. 37–42.
5. Способ разрушения водонефтяной эмульсии с применением ультразвукового воздействия: пат. RU 2535793 / Ф. Р. Губайдулин, А. Н. Судыкин, Р. З. Сахабутдинов, Р. Х. Шагеев. – Оpubл. 20.12.2014.
6. Гидродинамический ультразвуковой депарафинизатор насосно-компрессорных труб : полез. модель RU 77176 / В. С. Аникин, В. В. Аникин. – Оpubл. 20.10.2008.
7. Устройство для введения высокочастотных колебаний в корпус, содержащий вязкую среду : пат. BY 16182 / А. Г. Капсаров, М. М. Зелепушенко, Р. В. Ядловский. – Оpubл. 30.10.2011.
8. Устройство введения высокочастотных колебаний в корпус для измельчения гранулированных сред : заявка BY 20180157 / И. В. Войтов, А. Р. Цыганов, А. Г. Капсаров, А. И. Лобов.

УДК 622.323

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВОДОПРИТОКА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАГЕНТА ОВП-2

Е. И. Коваленко², Т. В. Атвиновская¹, А. С. Асадчев¹

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

Крупнейшие нефтяные месторождения Республики Беларусь (Речицкое, Осташковичское, Вишанское и др.), открытые в 60–70-х гг. прошлого века, находятся в четвертой, завершающей, стадии разработки. Для увеличения нефтеотдачи пластов и

снижения объемов попутно добываемой воды в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» регулярно проводятся геолого-технические мероприятия (ГТМ) по ограничению водопритоков. Высокоэффективными селективными водоизолирующими реагентами, применяемыми для обработки нефтяных коллекторов, подобные белорусским, являются водоизоляционные реагенты. В настоящей статье обсуждены результаты лабораторных исследований объемных и прочностных характеристик реагента ОВП-2 и дана оценка результатам применения реагента на месторождениях Беларуси. Реагент, благодаря своим высоким структурно-механическим и адгезионным характеристикам, адаптирован к геолого-техническим условиям белорусских промыслов и успешно используется при проведении ремонтно-изоляционных работ (РИР) в нефтяных скважинах.

Селективные методы изоляции – это такие методы, при которых с использованием многопакерных компоновок применяют материалы, закачиваемые во всю перфорационную часть пласта, при этом образующийся осадок, гель или отверждающее вещество увеличивают фильтрационное сопротивление только в водонасыщенной части пласта, а закупорки нефтенасыщенной части не происходит. Важной особенностью проведения селективной водоизоляции является то, что нет необходимости производить повторную перфорацию.

Результатом применения таких технологий является снижение отборов воды и увеличение добычи нефти из залежей.

Основным отличием селективной изоляции от альтернативных технологий является то, что она не снижает фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) изолируемого пласта, что особенно важно для низкопроницаемых коллекторов. Кроме того, данная технология позволяет при восстановлении и стабилизации гравитационного и гидродинамического равновесия всех пластов легко извлекать компоновку для последующего вовлечения в разработку остаточных запасов нефти изолированного пласта. Многопакерные компоновки можно также использовать для устранения возможных мест негерметичности эксплуатационной колонны. При этом основным недостатком данной технологии является уменьшение диаметра эксплуатационной колонны, что ограничивает глубину спуска насоса.

Другой особенностью технологии селективной изоляции по временному отключению обводненных пластов является то, что при изменении режима эксплуатации одной скважины со временем изменяются показатели работы (динамический уровень, дебит жидкости, обводненность) окружающих скважин. Это связано с различной приемистостью нагнетательных скважин, находящихся в зоне дренирования рассматриваемых скважин, а также с перераспределением потоков фильтрации.

Реагент ОВП-2 – отечественный реагент, производится способом щелочного гидролиза из щелочных гидролизатов технологических отходов полиакрилонитрильного волокна «нитрон» согласно ТУ ВУ 600125053.053–2013.

Для получения качественного водоизолирующего материала на основе ОВП-2 в качестве инициаторов осадкогелеобразования используются водный раствор хлористого кальция и пластовая высокоминерализованная вода, содержащая ионы Ca_2^+ и Mg_2^+ , плотностью не менее 1150 кг/м^3 . В случае, если плотность воды менее 1150 кг/м^3 , в нее добавляется хлористый кальций (CaCl_2).

При ликвидации поглощений в высокопродуктивных скважинах в состав некоторых ВИС вводятся наполнители:

– крошка резиновая – применяется в композиции с ОВП-2. Выпускается согласно ТУ 2511–006–59154454–2004 и ТУ 2519–001–51009273–2005;

– древесные опилки (просеянные через сито с ячейкой 5 мм) применяются в составе композиции на основе бентонито-полимерной суспензии.

Приготовление раствора ОВП-2 заданной концентрации объемом более 30 м³ проводится в блоке циркуляционной системы вместимостью 40 м³ путем смешения необходимого количества пресной воды и товарного ОВП-2.

Для определения объема и показателей качества водоизолирующего материала пробы рабочего раствора реагента ОВП-2 смешивали в мерных пробирках в объемном соотношении 1 : 1 с раствором коагулянта до формирования единой водоизолирующей «пробки». Чтобы оценить показатели липкости и водонепроницаемости материала, пробу раствора реагента «наслаивали» в пробирках на равный объем раствора коагулянта, при этом на границе раздела фаз формировался слой водоизолирующего материала. После выдержки образцов в течение 3 ч оценивали качество материала по следующим показателям, а также был построен график зависимости прочности и липкости от процентного содержания реагента (рис. 1).

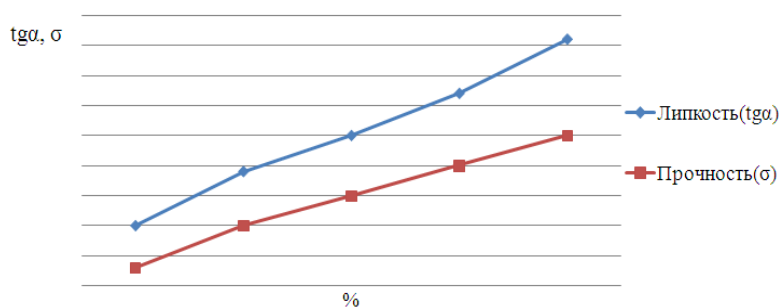


Рис. 1. График зависимости прочности и липкости от процентного содержания реагента ОВП-2

Предлагается применять этот водоизолирующий компонент при ликвидации водопритоков различной интенсивности по негерметичному цементному кольцу, расположенному ниже и выше продуктивного пласта, а также непосредственно промытого пропластка в эксплуатационном объекте.

Получены положительные результаты применения реагента ОВП-2 на Осташковичском, Западно-Малодушинском и Золотухинском нефтяных месторождениях Республики Беларусь.

УДК 622.24

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕХОДА ОТ СЕКЦИОННЫХ ТУРБОБУРОВ К ВИНТОВЫМ ЗАБОЙНЫМ ДВИГАТЕЛЯМ

Д. С. Матвеев

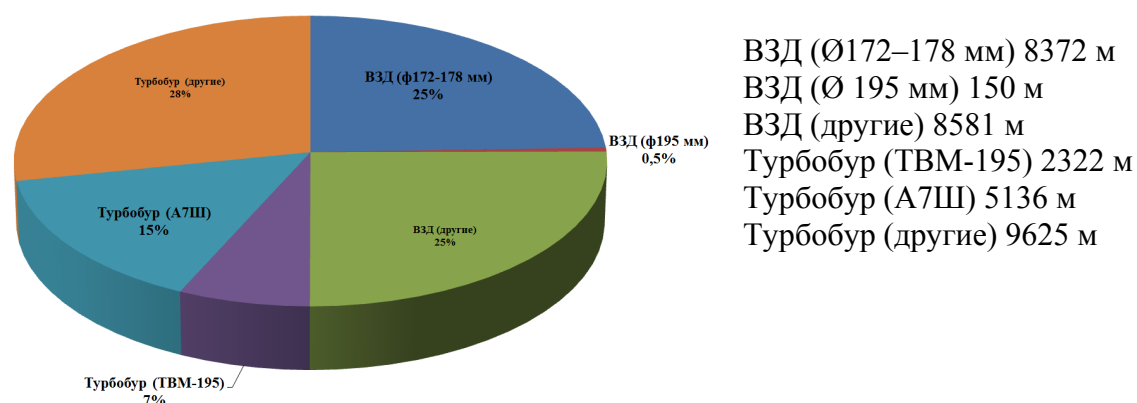
РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
НГДУ «Речищанефть», г. Гомель

Турбинный способ бурения нефтяных и газовых скважин с каждым годом набирает все большую популярность из-за сложности проектируемых скважин. Для реализации турбинного способа бурения необходимо использование надежных и работоспособных гидравлических забойных двигателей (турбобуры и винтовые забойные двигатели). Существует множество конструкций гидравлических забойных дви-

гателей (ГЗД) различного назначения и типоразмера, и все они имеют достоинства и недостатки в определенных условиях эксплуатации. Выбор рационального ГЗД неотъемлемо связан с применяемыми элементами компоновки низа бурильной колонны (породоразрушающим инструментом, телеметрическими системами), а также с целевыми назначениями выполняемых работ.

В последние годы в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» тенденция использования винтовых забойных двигателей (ВЗД) вместо типовых турбобуров имеет ярко выраженный характер, практически вытеснив турбобуры из области применения.

Турбобуры типа 2ТВМ-195+ШО (2А7ШО) использовались в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» для ориентирования и набора угловых параметров скважины. Также для данных целей применяются винтовые забойные двигатели (ВЗД) типа ДРУ-172 (ДРУ-178). Замена турбобуров ТВМ-195 (А7Ш) на ВЗД ДРУ-172 (ДРУ-178) связана с тем, что данный тип ВЗД получил более широкое применение – имеется возможность универсальной замены практически на любой скважине в отличие от ВЗД ДРУ-195, почти не применявшихся в 2016 г. Ниже приведена диаграмма процентного соотношения применения турбинных способов бурения (по проходке) в Светлогорском управлении буровых работ в 2016 г. (рис. 1).



ВЗД (Ø172–178 мм) 8372 м
 ВЗД (Ø 195 мм) 150 м
 ВЗД (другие) 8581 м
 Турбобур (ТВМ-195) 2322 м
 Турбобур (А7Ш) 5136 м
 Турбобур (другие) 9625 м

Рис. 1. Турбинный способ бурения в СУБР в 2016 г.

По своим техническим и технологическим характеристикам ВЗД ДРУ-172 (ДРУ-178) не только не уступает турбобурам ТВМ-195 (А7Ш), но имеет ряд преимуществ:

– регулируемый угол перекоса осей на шпинделе, что позволяет в условиях буровой установить требуемый, в то время как у турбобуров имеются шпиндели-отклонители с нерегулируемым углом, что приводит к необходимости содержания нескольких шпинделей с различными углами перекоса как на буровой, так и на базе производственного обеспечения;

– возможность работы в режиме «вращение» с углом перекоса осей до $1^{\circ} 46''$;

– более близкое (на 12,5 м) расположение датчиков телеметрических систем к забюю, что позволяет осуществлять проводку скважин с минимальными кругами допуска;

– увеличение длительности рейса при применении шарошечных долот ОАО «Волгабурмаш» за счет увеличения стойкости долот с 20 до 40–50 ч, а следовательно сокращение затрат на плановые СПО по замене отработанных долот;

– снижение потребности в шарошечных долотах ОАО «Волгабурмаш» диаметром 215,9 мм в два раза;
– увеличение длительности рейса при использовании долот PDC со 100 ч (средний ресурс шпиндель-отклонителя турбобура) до 200 ч (гарантированное время наработки на отказ ВЗД).

С повсеместным переходом в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» к использованию арендного породоразрушающего инструмента (долот PDC), по причине более высоких показателей механической скорости бурения и снижения затрат на строительство скважины, пропала необходимость в применении импрегнированных долот. И, как следствие, турбобуров типа ТСА-195 (высокооборотные турбобуры), которые оптимально подходили для привода данного типа долот. Помимо этого, долота PDC в компоновке с ВЗД показали более высокие результаты в сравнении с использованием шарошечных долот. Таким образом, ВЗД в 2017–2018 гг. в доле турбинного способа бурения занимают практически весь объем бурения скважин.

Кроме того, немаловажным является экономическая сторона применения винтовых забойных двигателей. Для принятия четкого решения о переходе от турбобуров к ВЗД и технико-экономического обоснования была использована информация, предоставленная различными целевыми подразделениями РУП «Производственное объединение «Белоруснефть». Проанализирован рынок предложений по продаже и аренде ВЗД, выполнены расчеты стоимости готового изделия (турбинной секции и шпиндель-отклонителя), стоимости ТО 1-го изделия (турбинной секции и шпиндель-отклонителя) с учетом ЗИП и трудоемкости ремонта в турбинном участке БПО СУБР. Результаты данной работы выглядят следующим образом: при использовании арендных ВЗД ДРУ-172 эксплуатационные затраты на 1 час бурения в сравнении с 2ТВМ-195+ШО и 2А7ШО ниже на 39,0 и 40,3 % соответственно.

Эти результаты в совокупности с высокими коммерческо-техническими показателями и явились отправной точкой для широкомасштабного перехода от турбобуров к ВЗД в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

С целью вовлечения остаточного турбинного парка оборудования предложено использовать турбобуры для разбуривания цементных стаканов, КНОК и выбурки 30–40 м из-под башмака обсадной колонны. По мере отработки парка турбинного оборудования планируется переоснащение уже бывших в работе турбинных и шпиндельных секций путем селективной сборки, с целью полного вовлечения ЗИП и недопущения неликвидных остатков.

УДК 620.173.2

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ
НА ПРИМЕРЕ ЛАНСКО-СТАРООСКОЛЬСКОЙ ЗАЛЕЖИ
РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

А. М. Жуковский¹, Р. Е. Гутман²

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель*

Построение цифровых геолого-геомеханических моделей основывается на информации о пространственном распределении физико-механических свойств горных пород и их напряженно-деформированном состоянии. Использование таких моделей

позволяет решать широкий спектр прикладных задач на всем жизненном цикле скважины – от строительства до процесса добычи, включая проектирование, бурение, крепление и освоение скважины [1], [2].

Исследование физико-механических свойств kernового материала (модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел прочности) проводят на лабораторном оборудовании, воспроизводящем пластовые условия. Однако такое оборудование является весьма дорогостоящим и энергоемким. Все большее применение находят корреляционные зависимости между свойствами горных пород и скважинных флюидов в пластовых и поверхностных условиях, что при допустимой потере точности и достоверности результатов позволяют существенно упростить и оптимизировать процесс получения необходимой информации, для моделирования резервуаров и прогнозирования процесса разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений.

В лабораторных условиях данные об упруго-прочностных свойствах пород, как правило, получают статическими и динамическими методами. Динамические упругие модули могут быть определены достаточно просто по скорости распространения ультразвуковых волн в породе и объемной плотности образца. Прямые статические методы подразумевают непосредственное механическое воздействие на образец до его полного или частичного разрушения. Результаты, полученные статическими методами, являются более достоверными и отражают реальные свойства как однородной, так и неоднородной анизотропной породы, однако разрушают образец, тем самым не позволяя проводить на нем другие исследования. Динамические методы относятся к неразрушающим методам, они гораздо проще и дешевле в реализации, к тому же их можно проводить непосредственно в скважине с использованием кросс-дипольных акустических приборов. Однако динамические модули, как правило, в 2–3 раза превышают статические, поэтому требуется их корректировка с помощью синтетических корреляций [3], [4].

Основной целью данной работы является определение возможности для оценки упругих и прочностных характеристик kernового материала путем сопоставления экспериментальных данных, полученных по результатам неразрушающих и разрушающих методов исследования.

В данной работе в качестве неразрушающего статического метода использован метод индентирования. Сущность данного метода заключается во вдавливании в исследуемый материал индентора из высокотвердого материала достаточно широко апробированного при определении свойств самых различных материалов. При определении свойств горных пород применяется несколько технологических схем индентирования, в основном направленных на выявление твердости материала [5]. Оценка твердости, основанная на индентировании, всегда осложняется особой структурой горных пород, в которых практически всегда отмечается присутствие порового пространства. Такая морфология в совокупности с высокой хрупкостью материала осложняет применение стандартных методик, используемых в металлургии. Адаптированные к особенностям структуры и свойств горных пород методики разработаны для пластичных пород (методика Е. Ф. Эпштейна–Г. Франсена) и материалов, обладающих достаточно широким диапазоном свойств, но как правило, имеющих достаточно высокую прочность (методика Л. А. Шрейнера) [6].

Метод Л. А. Шрейнера получил большее распространение вследствие простоты своей реализации и возможности интерпретации результатов по виду кривой упруго-пластической деформации исследуемого образца. Согласно исследованиям [7] область границы между «компактированной» зоной и внутренними слоями материала независимо от вида индентора приобретает сферическую форму, которая позволяет регистрировать упругую отдачу неповрежденного материала.

В данной работе были проведены тестовые исследования образцов горных пород с применением методики Л. А. Шрейнера. Испытания проводились на стенде «Instron 5000». Для проведения исследований была изготовлена специальная оправка для закрепления индентора Виккерса. Для проведения тестовых исследований использовались образцы kernового материала из двух различных скважин. В ходе испытаний были определены значения статического модуля Юнга. Результаты индентирования также сравнивались с результатами стандартных тестов на одноосное сжатие. Для более полного понимания физики процесса индентирования была создана динамическая модель нагружения исследуемого материала индентором Виккерса. Модель строилась с использованием программного комплекса ANSYS. Данные, полученные в ходе моделирования, анализировались, а также сопоставлялись с результатами тестовых экспериментов.

На основании полученных результатов и обзора литературных данных выявлено, что методика индентирования позволяет уменьшить влияние макроскопической анизотропии на свойства горных пород, определяемые с применением выборки образцов, что обеспечивает сокращение длительности работ по проведению оценки свойств и уменьшению объема исходных материалов, необходимых для испытаний. Проведение индентирования в совокупности с получением данных о геомеханических характеристиках горных пород запланировано на следующих этапах данной работы. Это позволит систематизировать сведения о новом подходе к определению механических свойств посредством индентирования, выявить корреляционные зависимости между различными методами определения геомеханических параметров.

Литература

1. Построение 1D физико-механических моделей и решение задач устойчивости ствола скважины и прискважинной зоны / К. В. Торопецкий [и др.] // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной пром-ти. – 2016. – № 11. – С. 29–41.
2. Развитие метода исследования прочностных свойств горных пород с помощью профилирования полноразмерного керна / И. А. Верхушин [и др.] // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной пром-ти. – 2017. – № 9. – С. 12–16.
3. Jizba D. Mechanical and acoustic properties of sandstones and shale, A Dissertation submitted to the department of geophysics and the committee on graduate studies of Stanford University in partial fulfillments of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, March 1991.
4. Martin, R. J., Price, R. H., Boyd, P. J., Noel, J. S. Bulk and Mechanical Properties of the Paintbrush Tuff Recovered From Borehole USW NRG 7/7A Data Report SANDIA REPORT, Printed May 1995.
5. Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами : ГОСТ 24941–81. – Введ. 01.07.82. – М. : Гос. Ком. СССР по стандартам, 1982. – 16 с.
6. Разведочное бурение : учеб. для вузов / А. Г. Калинин [и др.]. – М. : ООО «НедраБизнес-центр», 2000. – 748 с.

УДК 620.1

**ПРОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
НА ПРИМЕРЕ РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Я. И. Юсупов¹, Р. Е. Гутман²,

¹ООО «Литосфера», МГУ им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация

²РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель

Проведение комплексных геомеханических исследований керна, прежде всего, необходимо для решения задач геомеханического моделирования, которое направлено на увеличение экономического эффекта от строительства скважин, снижение времени на бурение, оптимизацию программ ГРП и т. д. В качестве прикладных задач, решаемых интегрированным геомеханическим подходом, можно выделить подбор конструкции, оценку окна безопасной плотности бурового раствора, определение направления бурения и угла входа в продуктивный горизонт и т. д.

Упругие параметры характеризуют способность пород сопротивляться деформированию, т. е. определяют жесткость пород. В данной работе проводились эксперименты по определению основных упругих параметров – модуля Юнга (E) и коэффициента Пуассона (ν). Прочность породы определяется величиной критических напряжений, при которых происходит ее разрушение. Критические напряжения различны для разных пород и разных видов приложенных нагрузок. Они носят название пределов прочности [6]. В данной работе проводились эксперименты по определению пределов прочности при одноосном и трехосном сжатии (σ_c), одноосном растяжении (σ_t).

Исследования проводились на установке для трехосного сжатия керна ПИК-УИДК/М производства ЗАО «Геологика». Установка содержит камеру для исследования прочностных свойств керна в пластовых условиях. Камера позволяет создавать трехосное сжатие керна с измерением деформаций (упругих модулей) керна прямым методом до разрушения горной породы осевой нагрузкой.

При проведении эксперимента по определению прочности при одноосном сжатии авторы руководствовались ГОСТ 28985–91 [5] и ASTM D2938–95 [1]. Сущность метода заключается в измерении максимального значения разрушающего давления, приложенного к плоским торцам цилиндрического образца. При одноосном сжатии цилиндрический образец породы нагружается в атмосферных условиях только осевым усилием при помощи гидравлического пресса до тех пор, пока не происходит разрушение. Момент разрушения определяется по графику «напряжение–деформация».

При проведении эксперимента по определению прочности при одноосном растяжении авторы руководствовались ГОСТ 21153.3–85 [3]. Определение прочности при одноосном растяжении (σ_t) по бразильской методике заключается в измерении разрушающей силы в атмосферных условиях. Разрушающая сила прикладывается через стальные встречно-направленные плиты нагрузочного устройства к образующим образца на его диаметральной сечении.

Применительно к горным породам наибольшее распространение получила теория прочности, основанная на зависимости между касательными и нормальными на-

пряжениями в каждой точке тела, находящегося в сложнапряженном состоянии. При построении паспорта прочности, а также проведении эксперимента по определению угла внутреннего трения (φ) и когезионной прочности (S_0) авторы руководствовались ГОСТ 21153.8–88 [4] и ASTM D7012–14 [2]. Для определения угла внутреннего трения (φ) и когезионной прочности (S_0) необходимо в координатах нормального и тангенциального напряжений построить как минимум два круга Мора, соответствующих различным соотношениям главных напряжений в момент разрушения образца (одно главное напряжение соответствует обжимному, другое – осевому). Первый круг Мора характеризует разрушение образца при одноосном нагружении с атмосферным радиальным давлением: $\sigma_1 = \sigma_{oc} = \sigma_0$; $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{рад} = 0,1$ МПа. Второй круг Мора характеризует разрушение при трехосном нагружении в термобарических условиях при фиксированном значении обжимного и порового давления. Согласно теории Мора, разрушение наступает тогда, когда касательные напряжения превысят определенное значение ($\tau_1 f$), величина которого тем больше, чем больше нормальные напряжения, действующие на образец.

Для рациональной разработки нефтяных месторождений требуется комплексный подход, который включает в себя множество направлений, в том числе геомеханическое моделирование. Геомеханическое моделирование решает широкий спектр задач и может применяться на всех этапах разработки месторождений, начиная от разведки, заканчивая этапами консервирования месторождения. В данной работе на примере межсолевых отложений I–III пачки Речицкого месторождения будут рассмотрены некоторые задачи, решить которые удалось, применяя геомеханическое моделирование.

Основной целью исследований в пределах I–III пачки является выявление наиболее перспективных интервалов для проведения ГРП, получение достоверных значений упруго-прочностных свойств пород, а также оценка напряженно-деформированного состояния горных пород, расчет величин главных напряжений и оценка направлений распространения главных осей тензора напряжения.

Для этих целей компанией «Белоруснефть» был проведен широкий комплекс специальных геофизических скважинных исследований с применением кроссдипольных акустических приборов, многоосного каверномера, микроимеджера, сейсмического мониторинга ГРП и др. Помимо этого научно-аналитическим центром имени В. И. Шпильмана был проведен большой комплекс лабораторных исследований на керне, включающий в себя геохимические, петрофизические и геомеханические исследования. Все результаты лабораторных и геофизических исследований в той или иной степени учитывались при построении модели.

По результатам 1D геомеханического моделирования были определены упруго-прочностные свойства горных пород динамическими методами, статические свойства оценивались на основании аналитических синтетических зависимостей, применяемых на аналогичных месторождениях, а также полученных по результатам керновых исследований I–III пачки. В связи с небольшим количеством скважин, в которых проводились геомеханические исследования, для более точного описания упруго-прочностных на месторождении, рекомендуется продолжить работы по исследованию керна. На основании данных кроссдипольного акустического каротажа, а также многоосного каверномера был сделан вывод о незначительной анизотропии напряжений пределах I–III пачки, что может быть вызвано различными факторами, начиная от влияния солей на распределение напряжений в пласте, заканчивая структурными особенностями горных пород. По результатам геофизических исследова-

ний были оценены величины главных напряжений и построены профили напряжений по исследуемым скважинам.

Литература

1. ASTM D2938–95. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens // ASTM International. – 2002.
2. ASTM D7012–14. Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures. // ASTM International. – 2017.
3. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении : ГОСТ 21153.3–85. – М. : Госстандарт СССР, 1985.
4. Породы горные. Метод определения прочности при объемном сжатии : ГОСТ 21153.8–88. – М. : Госстандарт СССР, 1988.
5. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии : ГОСТ 28985–91. – М. : Изд-во стандартов, 1991.
6. Ржевский, В. В. Основы физики горных пород : учебник / В. В. Ржевский, Г. Я. Новик. – Изд. 7-е. – М. : ЛЕНАНД, 2014. – 368 с.

УДК 622.276

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБ НА ОБОРУДОВАНИИ «АА-КОНКОР»

В. О. Кученев¹, А. С. Асадчев²

¹РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

В соответствии с техническими решениями БелНИПИнефть для изучения процессов коррозии при условиях, соответствующих фактическим условиям подъема нефтепромысловых сред на поверхность по НКТ, было разработано стендовое оборудование, представляющее установку «АА-КОНКОР», позволяющее:

– моделировать условия скважинного потока жидкости как для вертикального течения (подъем жидкости по колонне НКТ), так и для горизонтального течения (движение нефтепромысловой среды в системе нефтегазосбора), которые включают давление, температуру, скорость потока и обеспечивают их стабильность в течение всего времени эксперимента;

– изучать коррозионные процессы сталей и сплавов различных марок в зависимости от температуры, давления, скорости потока, рН среды и ее состава, в том числе концентрации агрессивных компонентов, в присутствии ингибитора коррозии и без него;

– определять коррозионную стойкость сталей и сплавов различных марок.

Установка «АА-КОНКОР» (рис. 1) является закрытым циркуляционным контуром, в котором установлены две ячейки для размещения образцов-свидетелей и датчиков коррозии, имеет в составе циркуляционный насос для поддержания постоянной скорости потока, насос поддержания давления, дозировочный насос, датчики давления, температуры, расходомер, комплект программного обеспечения.

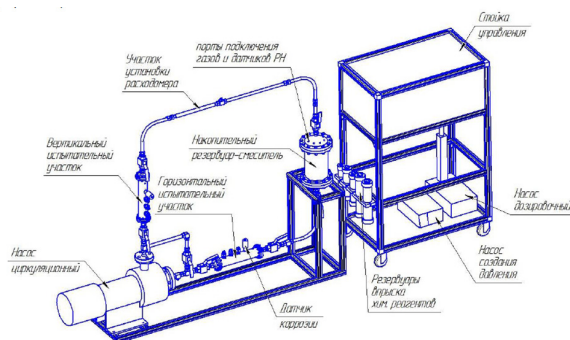


Рис. 1. Принципиальная схема установки «АА-КОНКОР»

Продолжительность испытаний определяется в соответствии с разработанной методикой на основании стандарта NACE TM0169–2000 «Стандартная методика испытаний. Лабораторные испытания металлов на коррозионную стойкость».

Первый эксперимент проводился при содержании в циркуляционной жидкости растворенных углекислого газа 47,5 мг/л, сероводорода – 1,12 мг/л. Эксперимент с поочередным извлечением образцов показал, что при невысоком содержании сероводорода (~1 мг/л) достаточное время испытания – 3 сут., за это время коррозионный процесс стали выходит на постоянный уровень, скорость коррозии стали на третьи сутки изменяется незначительно. На рис. 2 представлен график изменения скорости коррозии образцов-свидетелей, установленных на горизонтальном участке во времени при вышеуказанных условиях (содержание $\text{CO}_2 \sim 45$ мг/л, $\text{H}_2\text{S} \sim 1,1$ мг/л).

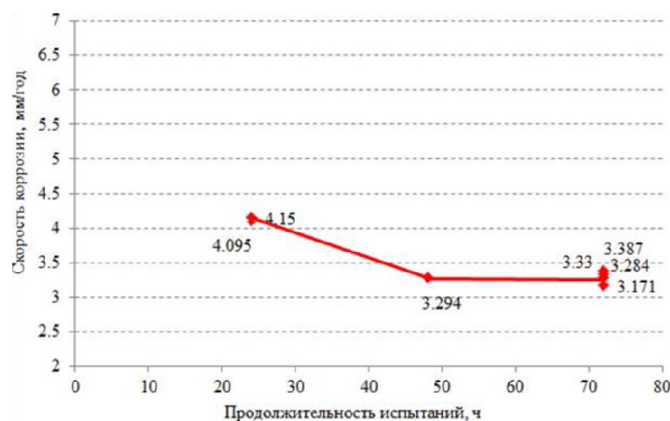


Рис. 2. Изменение скорости коррозии во времени при содержании растворенного сероводорода в модельной среде ~ 1 мг/л

Далее концентрация растворенного в модельной среде сероводорода была увеличена до 10,3 мг/л при прочих равных условиях (рис. 3). Время экспозиции образцов-свидетелей было увеличено до 5 сут., при этом проводилось поочередное извлечение образцов-свидетелей коррозии. Скорость коррозии образцов-свидетелей, установленных на вертикальном участке циркуляционного контура, при содержании растворенного сероводорода ~10 мг/л составляет 3,76 мм/год.



Рис. 3. Изменение скорости коррозии во времени при содержании растворенного сероводорода в модельной среде ~10 мг/л

По результатам проведенных исследований сформулированы следующие выводы:

– установленная продолжительность коррозионных испытаний при содержании сероводорода на уровне 1 мг/л и растворенного углекислого газа 50 мг/л составляет 72 ч (3 сут.), а при содержании растворенного сероводорода 10 мг/л увеличивается до 120 ч (5 сут.);

– получена методика, направленная на выработку единых требований к работе оборудования, условиям и порядку проведения экспериментов, обеспечивающих получение достоверных воспроизводимых данных коррозионных испытаний.

Л и т е р а т у р а

1. Жук, Н. П. Коррозия и защита металлов / Н. П. Жук. – М. : Машгиз, 1957. – 328 с.
2. NACE TM0169–2000 «Стандартная методика испытаний. Лабораторные испытания металлов на коррозионную стойкость».

УДК 622.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА БУРЕНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ СОПРОВОЖДЕНИИ ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НОВОЙ ТЕХНИКИ

В. Д. Дробышевский, А. С. Асадчев

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

Под оптимальным режимом бурения понимается определенное сочетание параметров режима бурения (осевая нагрузка на долото G ; частота вращения долота (или ротора) n ; расход (подача или производительность) буровых насосов Q), при котором получают наиболее высокие количественные показатели, при требуемых качественных и возможно более низкую себестоимость 1 м проходки.

При проведении промысловых исследований выбор рациональных значений параметров режима бурения с целью оптимизации процесса бурения и их оперативный контроль с использованием станций контроля бурения АМТ-100 осуществляется методом «заторможенного» барабана в следующих случаях:

- при смене проходимых пород;
- при изменении скорости проходки;
- при изменении параметров режима бурения;
- при изменении момента вращения, сильных вибрациях и др.

Метод «заторможенного» барабана при определении оптимального режима бурения среди других методов [1]–[4], [9] и др. является наиболее технологичным (по затратам времени на проведение работ) и достоверным.

Сущность метода «заторможенного» барабана состоит в том, что изменение уровня действующей на долото осевой нагрузки G осуществляется путем выработки забоя без подачи верхней части инструмента в направлении забоя после достижения некоторого установленного максимального значения осевой нагрузки.

Метод «заторможенного» барабана при определении оптимального режима бурения при турбинном бурении состоит из трех этапов:

этап 1: определение зависимости изменения нагрузки на долото во времени $G(t)$ для нескольких значений Q ;

этап 2: определение h , т. е. «захода» ведущей бурильной трубы в стол ротора (без бурения) – в соответствии с рис. 1:

этап 3: интерпретация полученных данных и выбор наилучшего сочетания параметров режима бурения производится в соответствии с рис. 2.

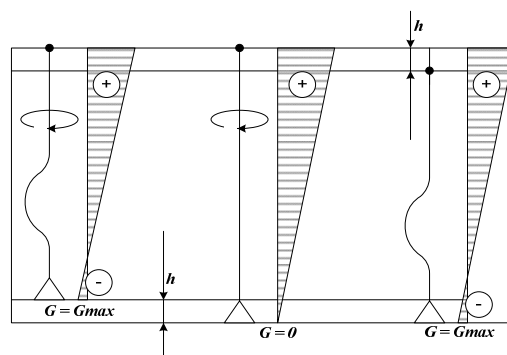


Рис. 1. Определение величины проходки h и соответствующего ей значения h захода ведущей бурильной трубы в стол ротора

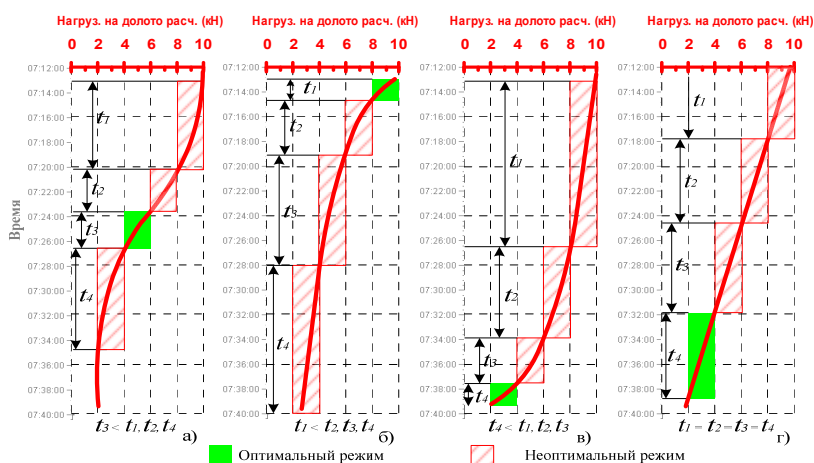


Рис. 2. Примеры определения значений оптимальной осевой нагрузки G на долото

- 1) для каждого значения расхода Q определяется кратчайшая продолжительность t цикла изменения значений осевой нагрузки G на долото на 10–20 кН;
- 2) производится анализ выполненных измерений с выявлением кратчайших по продолжительности t интервалов (циклов) изменения значений осевой нагрузки G на долото на 10–20 кН;
- 3) производится выбор рациональных значений осевой нагрузки G и расхода буровых насосов Q ;
- 4) устанавливаются параметры оптимального режима бурения исследуемого интервала, при котором сочетание рациональных значений осевой нагрузки G и расхода буровых насосов Q обеспечивает кратчайшую продолжительность t цикла изменения осевой нагрузки G на 10–20 кН, т. е. опосредствованно – максимальное значение механической скорости проходки в исследуемом интервале. При этом рекомендуются сочетания минимальных значений Q и G .

Литература

1. Агеев, А. И. Влияние характеристики турбины турбобура на параметры режима бурения / А. И. Агеев // Нефтяное хоз-во. – 1964. – № 2.
2. Астафьев, Г. К. Исследование и выбор рациональных режимов бурения и характеристик забойных двигателей применительно к бурению на Ромашкинском месторождении и некоторые пути повышения производительности шарошечных долот : автореф. ... дис. канд. / Г. К. Астафьев. – М. : ВНИИБТ, 1976.
3. Балицкий, В. П. Разброс значений частоты вращения вала турбобура / В. П. Балицкий // Машины и нефтяное оборудование. – 1976. – № 9.

СЕКЦИЯ 7. ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 537.8

РАСЧЕТ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ДВУМЯ ПРОВОДЯЩИМИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ШАРАМИ МЕТОДОМ ТЕОРЕМ СЛОЖЕНИЯ

Д. В. Комнатный

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

Задача расчета электростатического взаимодействия между двумя заряженными проводящими шарами имеет значительный теоретический и практический интерес. Известно решение этой задачи, в котором сила электростатического взаимодействия вычисляется на основании выражения для энергии электростатического поля, созданного шарами. Энергия отыскивается через потенциальные коэффициенты системы. Потенциальные коэффициенты, в свою очередь, выражаются через частичные емкости. При расчете силы требуется вычислить производные от потенциальных коэффициентов, для чего должны быть известны частичные емкости системы.

Собственная частичная емкость шара, которому присвоен номер 1, численно равна его заряду. Взаимная частичная емкость между шарами численно равна заряду шара с номером 2. Потенциал первого шара при этом равен 1 В, потенциал второго шара равен 0 В. Чтобы найти заряды шаров, требуется осуществить расчет электростатического поля в данной электродинамической системе. Для выполнения расчетов может быть применен метод теорем сложения, решение этим методом и является предметом данного доклада.

Для расчета потенциала электростатического поля в системе из двух шаров ставится задача математической физики:

$$\Delta\varphi = 0 \text{ в } D, \quad D \in R^3(\bar{D}_1 \cup \bar{D}_2);$$

$$\varphi|_{\Gamma_1} = 1, \quad \varphi|_{\Gamma_2} = 0;$$

$$\varphi = u_1 + u_2,$$

где φ – потенциал, В; D – область, занятая полем; D_1 – область шара 1; D_2 – область шара 2; Γ_1 – поверхность шара 1; Γ_2 – поверхность шара 2.

Решение задачи ищется в виде суперпозиции функций:

$$u_1 = \sum_{n=1}^{\infty} p_n \left(\frac{R_{01}}{r_1} \right)^{n+1} P_n(\cos \theta_1).$$

$$u_2 = \sum_{m=1}^{\infty} q_m \left(\frac{R_{01}}{r_2} \right)^{m+1} P_m(\cos \theta_2),$$

где n, m – счетные переменные; p_n и q_m – неизвестные коэффициенты; R_{01} и R_{02} – радиусы шаров, м; r_1 и r_2 – расстояния в сферических системах координат, связанных с центрами шаров 1 и 2, м; θ_1 и θ_2 – угловая сферическая координата, рад; $P_n(\cos \theta)$ – полином Лежандра.

С помощью теорем сложения для сферических функций, заданных в двух сферических системах координат, центры которых сдвинуты по вертикали на расстояние, равное расстоянию между центрами шаров a , функция u_1 выражена через r_2 и θ_2 . Аналогично функция u_2 выражена через r_1 и θ_1 . Подстановка этих функций в соответствующие граничные условия дает систему линейных алгебраических уравнений для p_n и q_m .

Анализ этой системы показывает, что коэффициенты p_n и q_m не зависят от сферических координат. Поэтому допустимо осуществить вычисление поверхностной плотности заряда обоих сфер по формулам:

$$\sigma_1 = -\varepsilon\varepsilon_0 \left. \frac{\partial \varphi}{\partial r_1} \right|_{r_1 = R_{01}}; \quad \sigma_2 = -\varepsilon\varepsilon_0 \left. \frac{\partial \varphi}{\partial r_2} \right|_{r_2 = R_{02}},$$

где σ – поверхностная плотность электрического заряда, Кл/м²; ε – диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – электрическая постоянная Ф/м.

Заряды шаров вычисляются по формулам:

$$q_1 = \int_S \sigma_1 dS_1; \quad q_2 = \int_S \sigma_2 dS_2,$$

где q – электрический заряд, Кл; S – площадь поверхности шара, м².

Вычисления по приведенным формулам с учетом свойств полиномов Лежандра показывают, что заряды сфер, численно равные частичным емкостям, могут быть рассчитаны по формулам:

$$q_1 = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 p_0 R_{01}; \quad q_2 = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 q_0 R_{02}.$$

Таким образом, для расчета частичных емкостей необходимо найти только коэффициенты p_0 и q_0 . Для этого допустимо выразить q_m через p_0 . Затем подставить q_m в первое уравнение системы линейных алгебраических уравнений для неизвестных коэффициентов, найти p_0 , а далее – вычислить q_0 .

Достоинством метода теорем сложения по сравнению с известными методами отражений в сфере и решения уравнения Лапласа в бисферической системе координат является сравнительная простота расчетов. В методе отражений выполнение большого числа отражений в сфере трудоемко, громоздко и трудно контролируемо. Бисферическая система координат ненаглядна, полученное решение зависит от геометрических параметров сфер сложным образом.

Поэтому решение методом теорем сложения может успешно использоваться для расчетов частичных емкостей, потенциальных коэффициентов и силы электростатического взаимодействия в системе двух заряженных проводящих шаров.

УДК 621.396.6

ЗАДАЧИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ С ИЗВЕСТНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА ПО ПОВЕРХНОСТИ ЭКРАНА

Д. В. Комнатный

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

Миниатюризация электронной аппаратуры, снижение уровней полезных сигналов обострили проблему электромагнитной совместимости микроэлектронного и микропроцессорного оборудования систем управления технологическими процессами. Одним из методов повышения помехоустойчивости и помехозащищенности электронных технических средств является экранирование. В частности, возникает задача экранирования электростатического и электрического полей.

При конструировании экранов для указанных типов полей широко используется метод интегральных уравнений, в котором основной подлежащей определению величиной является плотность электрического заряда, распределенного на поверхностях экранов и других конструктивных элементов электронного технического средства. Решение соответствующих интегральных уравнений в практических задачах может быть выполнено численными методами.

Однако имеются достаточно часто возникающие в практике конструирования задачи расчета экранов, для решения которых можно использовать заранее известные из курсов теории электромагнитного поля распределения плотности электрических зарядов по некоторым поверхностям. Распределения записываются в аналитической форме. Использование аналитической формы записи существенно облегчает конструкторско-технические расчеты, сокращает объем вычислений и затраты времени. Поэтому в настоящем докладе описывается постановка и решение таких задач экранирования электростатического поля.

Первая задача – задача о проникновении через щель в заземленном плоском экране электрического поля, созданного тонким цилиндрическим заряженным проводником. Предполагается, что проводник проложен параллельно щели и расположен на некотором расстоянии от ее края. Также предполагается, что размеры экрана и проводника таковы, что поле в электродинамической системе можно считать плоскопараллельным.

Для оценки влияния поля, проникшего через щель в пространство за экраном, требуется вычислить модуль вектора напряженности электростатического поля в точке расположения рецептора помех. Поле, проникающее через щель, при инженерных расчетах считается созданным зарядом, противоположным по знаку заряду, индуцированному на экране зарядом проводника в случае отсутствия щели. Но тогда не выполняется граничное условие на экране. Для удовлетворения граничному условию предполагается, что со стороны экрана на уровне его поверхности в щели расположен слой зарядов, индуцированный проводником, а со стороны рецептора – слой зарядов противоположного знака. Тогда граничное условие удовлетворяется на средней линии экрана, что является допустимым в силу малой толщины экрана. По теореме единственности таким способом получается верное решение.

Известно, что поверхностная плотность заряда в случае отсутствия щели вычисляется по формуле

$$\sigma(x) = \frac{2\varepsilon_a U h}{(h^2 + x^2) \ln \frac{H+h}{r}};$$

$$h = \sqrt{H^2 - r^2},$$

где σ – поверхностная плотность заряда, Кл/м; x – координата, м; ϵ_a – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м; U – напряжение на проводнике, В; H – расстояние от проводника до экрана, м; r – радиус проводника, м.

Тогда по известному решению для поля двухпроводной линии составляющие вектора напряженности электростатического поля в точке наблюдения за экраном могут быть найдены по формулам:

$$E_y = \int_{c_1}^{c_2} \frac{Uh}{\pi(h^2 + x^2) \ln \frac{H+h}{r}} \left[\frac{y_M - \frac{d}{2}}{(x - x_M)^2 + \left(y_M - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{y_M + \frac{d}{2}}{(x - x_M)^2 + \left(y_M + \frac{d}{2}\right)^2} \right] dx;$$

$$E_x = \int_{c_1}^{c_2} \frac{Uh}{\pi(h^2 + x^2) \ln \frac{H+h}{r}} \left[\frac{x - x_M}{(x - x_M)^2 + \left(y_M - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{x - x_M}{(x - x_M)^2 + \left(y_M + \frac{d}{2}\right)^2} \right] dx,$$

где c_1 и c_2 – координаты щели, м; d – ширина щели, м; x_M и y_M – координаты точки наблюдения, м.

Вторая задача – задача об оценке экранирующих свойств круглого дискового радиатора охлаждения электронного прибора. Если представить прибор в виде электрического диполя, то плотность электрического заряда, индуцированная одним зарядом диполя на поверхностях диска (1 – к заряду, 2 – от заряда), рассчитывается по формуле

$$\sigma_{1,2}(r) = \frac{-qh}{2\pi^2(h^2 + r^2)^{3/2}} \left\{ \arctg \sqrt{\frac{r_d^2 - r^2}{h^2 + r^2}} + \sqrt{\frac{h^2 + r^2}{r_d^2 - r^2}} \pm \frac{\pi}{2} \right\},$$

где q – заряд в составе диполя, Кл; h – расстояние от заряда до диска, м; r – радиальная координата на поверхности диска, м; r_d – радиус диска, м.

Из приведенной формулы следует, что распределение плотности заряда на диске в случае осесимметричного расположения деталей рассматриваемой электродинамической системы зависит только от радиальной координаты на диске. Поэтому на основании принципа суперпозиции потенциал электростатического поля в точке наблюдения M рассчитывается как сумма потенциала диполя и потенциалов от зарядов, индуцированных на поверхностях диска положительным и отрицательным зарядами диполя отдельно.

Если разделить поверхность диска на элементарные полоски радиуса r_i , то поверхностная плотность заряда в пределах полоски остается постоянной. Тогда потенциал от диска может быть вычислен как сумма потенциалов, созданных отдельными полосками. Потенциал, созданный зарядом полоски, рассчитывается по известной формуле для потенциала заряженного тонкого кольца:

$$\varphi_i = \frac{\sigma(r_i)}{4\pi\epsilon_a} \int_0^{2\pi} \frac{d\theta}{\sqrt{z^2 + \rho^2 + r_i^2 - 2r_i\rho \cos \theta}},$$

где z , ρ , θ – цилиндрические координаты точки наблюдения в системе координат, связанной с центром диска.

Поскольку решение показанных задач не требует применения численных методов, то допустим вывод, что анализ и расчет рассмотренных конструкций экранов электростатического поля существенно упрощается и может быть без вычислительных трудностей реализован на компьютере. Это, в свою очередь, ускоряет и упрощает конструирование микроэлектронных систем управления и контроля.

УДК 539

УГОЛ НАКЛОНА К ПОВЕРХНОСТИ ВЕКТОРА БЮРГЕРСА ДИСЛОКАЦИЙ У НЕКОГЕРЕНТНОГО ДВОЙНИКА, ЦЕПОЧКИ ДИСЛОКАЦИЙ И ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТЕНКИ

О. М. Остриков

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

Общеизвестно, что двойникование и скольжение являются основными каналами пластической деформации металлов. В настоящее время четко установлено, что при определенных условиях деформирования механическому двойникованию подвержены практически все используемые в технике материалы. Однако при этом часто возникает вопрос об ориентации вектора Бюргерса двойнивающей дислокации по отношению к поверхности в случаях, когда плоскость двойникования перпендикулярна поверхности, а двойниковая граница расположена к ней не под прямым углом.

Цель данной работы – дать убедительный ответ на этот вопрос.

На рис. 1 схематически показано распределение дислокаций на двойниковых границах, полосе скольжения и дислокационной стенке, расположенных не под прямым углом к поверхности. При этом плоскость двойникования перпендикулярна поверхности. Пусть цепочка дислокаций и дислокационная стенка состоят из краевых дислокаций, а винтовая составляющая двойнивающих дислокаций в показанной на рис. 1 плоскости сечения двойника (плоскости, перпендикулярной поверхности) параллельна поверхности. Тогда векторы Бюргерса цепочки дислокаций ($b_{ц}$) и дислокационной стенки ($b_{ст}$) будут ориентированы, соответственно, под углами α и β к поверхности (см. рис. 1).

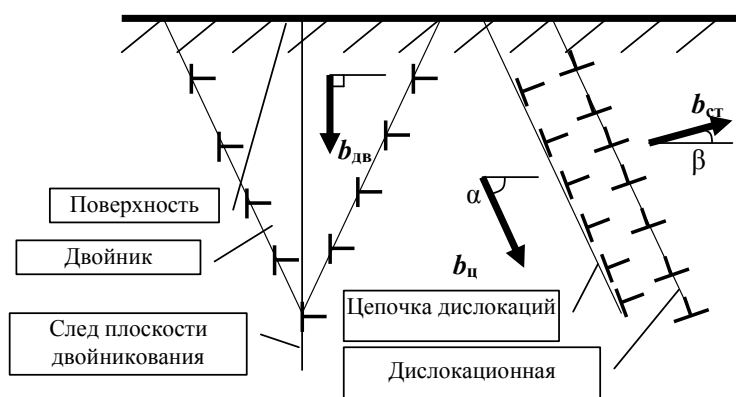


Рис. 1. Схематическое изображение неогерентного остаточного двойника, цепочки дислокаций, дислокационной стенки и ориентации векторов Бюргерса дислокаций по отношению к поверхности

В случае наклонной по отношению к поверхности двойниковой границы краевая составляющая вектора Бюргерса ($b_{дв}$) перпендикулярна поверхности кристалла, так как двойниковая граница образована не цепочкой дислокаций и не дислокационной стенкой, а дислокационной лестницей, в которой каждая дислокация движется в одной плоскости, перпендикулярной поверхности, когда плоскость двойникового перпендикулярна этой же поверхности.

УДК 539

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О НАХОЖДЕНИИ СИЛЫ В ПЛОСКОСТИ ДВОЙНИКОВАНИЯ ДЕФОРМИРУЕМОГО ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ДВОЙНИКУЮЩЕГОСЯ МОНОКРИСТАЛЛА

В. О. Остриков, О. М. Остриков

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

В настоящее время накоплен большой объем экспериментальных результатов по исследованию механического двойникового кристаллов. Выявлены основные физические закономерности двойникового, заложены основы и продолжается развитие теории двойникового. Для практического использования полученных результатов представляет интерес решение инженерных задач по технической механике двойникового материалов.

Целью данной работы стала постановка задачи о нахождении силы, действующей в плоскости двойникового деформируемого в заделке призматического монокристалла.

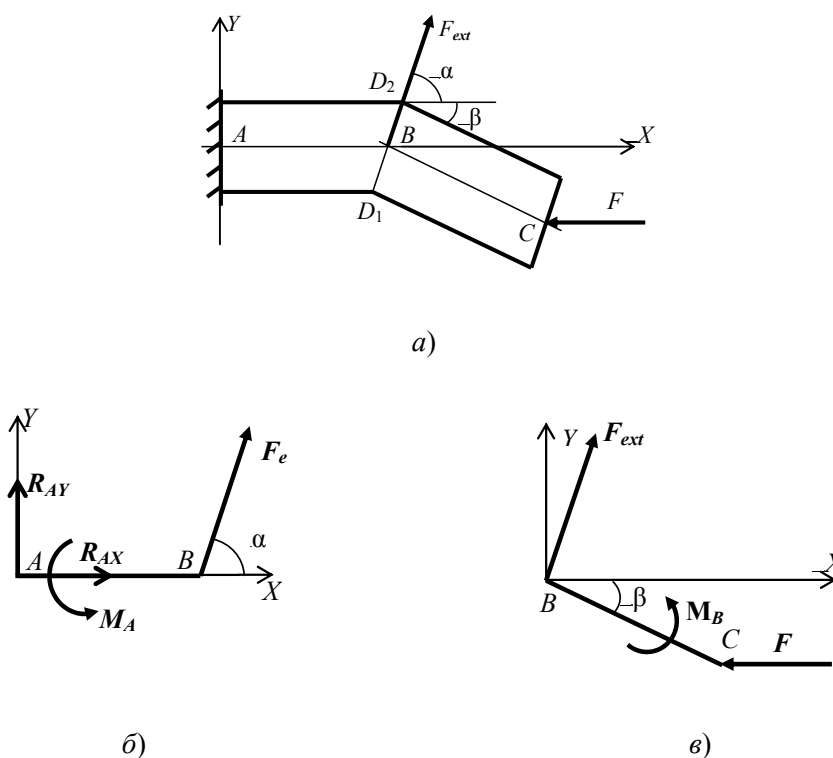


Рис. 1. Схематическое изображение сдвойникового нагруженного призматического образца в жесткой заделке до (а) и после (б, в) освобождения от связей

На рис. 1, *a* схематически показано сечение сдвойникового призматического образца в жесткой заделке до освобождения от связей. След двойниковой границы обозначен отрезком $[D_1D_2]$; F_{ext} – искомая сила, действующая в плоскости двойникования; α – угол наклона линии действия силы F_{ext} к поверхности образца; β – угол двойникования; F – заданная сила, действующая на торец образца.

Решение поставленной статической задачи классическими методами приводит к ситуации, когда количество неизвестных превосходит количество уравнений. Поэтому предлагается разбивка задачи на две: для несдвойникованной (*б*) и сдвойникованной (*в*) областей кристалла.

УДК 62-33

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КЛАПАННОЙ ПАРЫ

М. С. Мельниченко, Д. Л. Стасенко

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

Введение. Важными элементами, определяющими производительность гидросистемы и надежность гидравлической аппаратуры, являются уплотнительные устройства. Как правило, они просты по конструкции, имеют малые размеры и, кроме того, выполняют ответственную функцию внутренней герметичности.

Исследование величины утечки через клапанное уплотнение является важной задачей, так как это определяет работоспособность, время срабатывания, надежность и долговечность работы устройства, в котором оно применяется, а также экономическую эффективность применения данного устройства.

Известна теоретическая зависимость расхода жидкости при протекании в ламинарном режиме через кольцевую щель [1]:

$$Q = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot d \cdot e^3}{12 \cdot \mu \cdot L}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где d – диаметр затвора клапана, м; μ – коэффициент динамической вязкости, Па · с; e – величина зазора, м; Δp – перепад давления, Па; L – ширина контакта «затвор–седло», м. Однако она полностью не отражает реальных условий из-за взаимосвязи перепада давления и геометрических размеров кольцевого зазора.

Поэтому целью данной работы является проведение экспериментальных исследований для определения величины утечки в некоторых видах клапанных уплотнений.

Экспериментальные исследования для определения величины утечек в клапанном уплотнении выполнялись опытным путем на стенде, построенном на базе элементов Festo (рис. 1, *a*).

Рабочее давление при проведении эксперимента составляло от 5 до 20 МПа с шагом варьирования 3 МПа; температура – 50 °С, постоянная.

В системе использовалось масло ИГП – 38. При температуре 50 °С масло имеет следующие характеристики: плотность $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$; кинематическая вязкость $\nu = 40 \text{ сСт}$;

При проведении испытания использовалось 3 вида контактных клапанных уплотнений: с конической уплотнительной поверхностью, упругой кромкой и резиновое уплотнение.

В качестве образца для проведения испытаний использовался затвор клапана с диаметром $d = 0,02$ м.

Для количественного определения утечек применялся гидроцилиндр 6 (рис. 1) с установленным на нем грузом 10 кг. Диаметр поршня гидроцилиндра равен 50 мм.

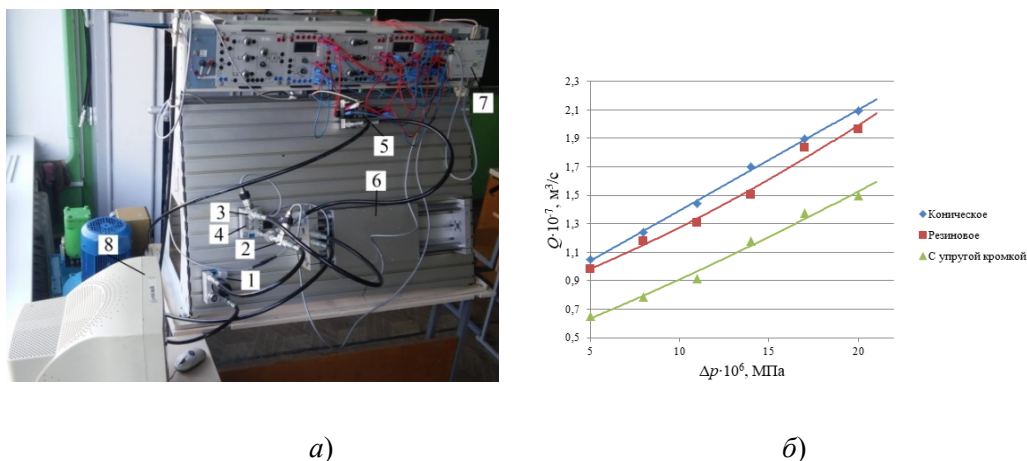


Рис. 1. Экспериментальный стенд и результаты исследований
 а – экспериментальный стенд для проведения испытаний: 1 – фильтр; 2, 3 – датчики давления; 4 – испытуемый клапан; 5 – пропорциональный распределитель; 6 – гидроцилиндр; 7 – цифро-аналоговый/аналого-цифровой преобразователь (ЦАП/АЦП); 8 – компьютер; б – перепадно-расходные характеристики испытуемых типов уплотнений

Утечка определялась путем измерения перемещения поршня за время $t = 5$ мин. Перемещение измерялось при помощи датчика положения, установленного в гидроцилиндре, связанного с компьютером.

Все данные обрабатывались на компьютере при помощи пакета программ FluidSIM.

Величина утечки через испытуемый клапан определялась по экспериментальным значениям скорости перемещения поршня цилиндра в зависимости от его площади. Численное значение расхода определялось по формуле [2]:

$$Q = S \cdot v,$$

где $S = 1,9625 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ – площадь поршня; v – скорость перемещения поршня, м/с.

Численное значение скорости перемещения цилиндра определялось при помощи программы FluidSIM.

Расчеты показали, что при давлении 20 МПа наименьшую утечку имеет уплотнение с упругой кромкой: $Q = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$. Коническое – $Q = 2,093 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$; резиновое – $Q = 1,963 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты расчетов представим в виде перепадно-расходных характеристик $\Delta p = f(Q)$, построенных в программе MathCAD (рис. 1, б).

Заключение. В ходе проведения работы был разработан и собран экспериментальный стенд с автоматизированным контрольным комплексом, построенном на базе элементов Festo, позволяющий измерять величину утечек через клапанное уплотнение.

Разработана методика и проведены экспериментальные исследования величины утечек различных уплотнений.

В результате анализа опытных данных установлено, что наиболее целесообразным является применение контактного клапанного уплотнения с упругой кромкой, которое выполняется в виде тонкостенной оболочки, так как при прочих равных условиях они показали наилучшие уплотняющие свойства и наименьшую утечку через клапан.

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. Стасенко, Д. Л. Гидравлические расчеты оборудования : практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» днев. и заоч. форм обучения / Д. Л. Стасенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 36 с.

УДК 622.6

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ НА ПНЕВМОКОЛЕСНОМ ХОДУ

О. Д. Почужевский, А. В. Веснин, М. Є. Кристопчук, Ю. Л. Почужевская

Криворожский национальный университет, Украина

Оптимизация параметров и согласования режимов работы узлов и агрегатов является одним из путей улучшения эксплуатационных показателей карьерных автосамосвалов.

При расчете тягово-скоростных характеристик большегрузного карьерного автосамосвала используется значение статического и динамического радиуса колеса, которое, в свою очередь, невозможно определить без видимого положения центра масс. Данное значение влияет на погрешность расчетной величины перераспределения нагрузки шин по осям и, как следствие – на установление статического и динамического радиуса качения колеса.

Целью формирования методики является уменьшение погрешности расчетов тягово-скоростных характеристик большегрузных карьерных автосамосвалов на пневмоколесном ходу.

Методика исследований разработана на основе действующих нормативных документов: ГОСТ 27248–87 (ИСО 5005–77); ГОСТ 28770–90 (ИСО 8313–89); ГОСТ 30750–2001 (ИСО 789-6–82); ГОСТ 26000–83 (СТ СЭВ 3762–82) и ГОСТ 26585–2003.

Перед испытанием автосамосвал должен быть чистым и испытываться в работоспособном состоянии. Радиатор, масляный бак, гидравлические и другие емкости должны быть заполнены до установленных рабочих уровней, топливный бак должен быть полностью заполнен. Давление в шинах должно соответствовать требованиям инструкции по эксплуатации или, если дается диапазон давлений, высшим из указанных значений. Кузов должен быть в опущенном состоянии.

Шарнирно-сочлененные карьерные автосамосвалы должны испытываться при блокировании рамы в положении, соответствующем прямолинейному движению, однако допускается проводить испытания при максимальном или любом промежуточном значении угла сборки.

Инструмент, детали и оборудование должны быть укомплектованы в соответствии с техническими условиями ТУ на карьерный автосамосвал конкретной модели в местах, предусмотренных для их размещения.

Измерения выполняются как для пустого, так и загруженного автосамосвала: а) загрузка выполняется грузом, который автосамосвал транспортирует, или любым другим негигроскопичным грузом; б) загрузка выполняется согласно паспорту загрузки и грузоподъемности автосамосвала; в) при испытаниях пустого автосамосвала необходимо проводить с чистым кузовом.

Центр тяжести определяют методом, основанным на подъеме автосамосвала и определении опорных реакций. Данный метод включает измерение опорных реакций автосамосвала, сначала – на горизонтальной поверхности, затем – при наклоне в продольном направлении. В каждом случае определяют расчетное горизонтальное расстояние центра масс от точки контакта с опорной поверхностью; вертикальные линии проецируют на пол. После этого переносят измеренные значения на схематический масштабируемый рисунок автосамосвала, где пересечением вертикалей образуется треугольник. По точному положению этого треугольника принимают точку пересечения медиан.

Во время исследований используется: рулетка измеряющая по ГОСТ 7502–80 с ценой деления 1 мм; штангенциркуль с удлиненными губками, обеспечивающий измерения с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм; манометр по ГОСТ 2405–80, обеспечивающий измерения с погрешностью не более $\pm 0,01$ МПа ($\pm 0,1$ кгс/см²); характеристическая линейка для определения высоты цилиндров подвески (для каждой модели карьерного автосамосвала); уровень, отвес («отвес»), угольник; маркер для нанесения отметок.

Центр тяжести определяют по методике измерений реакции опор при установке автосамосвала в следующие положения: горизонтальное; наклонное при поднятой передней (моторной) части; наклонное при поднятой кормовой (задней) части.

Площадка, на которой выполняются измерения, должна иметь твердую горизонтальную основу. Определение горизонтальной продольной x_c и вертикальной координаты y_c изображено на соответствующих рис. 1, 2.

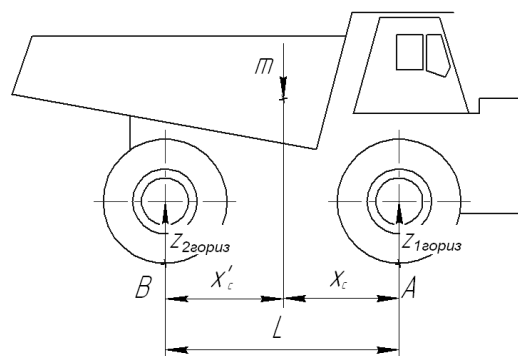


Рис. 1. Определение горизонтальной координаты x_c

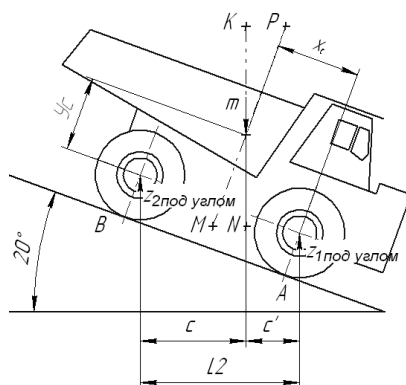


Рис. 2. Определение вертикальной координаты y_c

Определяют значение нагрузки $z_{1\text{гориз}}$, $z_{2\text{гориз}}$ по зависимости изменения высоты профиля шины и высоты цилиндра подвески от нагрузки. Для пустого автосамосвала определение нагрузок может выполняться по известному значению распределения нагрузки по осям автосамосвала (данное значение указано в технической документации конкретной модели) по формуле

$$z_{1,2\text{гориз}} = m \cdot n_{1,2(\text{бгр,гр})}, \text{ кг}, \quad (1)$$

где $n_{1,2(\text{бгр,гр})}$ – процентное распределение нагрузки, соответственно, для передней и задней оси без груза и с грузом.

Значение x_c определяют по формуле

$$x_{c(\text{бгр,гр})} = (L \cdot z_{1\text{гориз}}) / m, \text{ мм}, \text{ или } x_{c(\text{бгр,гр})} = L - L \cdot n_2, \text{ мм}. \quad (2)$$

Рассмотрим определение вертикальной координаты y_c (рис. 2). Автосамосвал поднимают за один край на угол $20\text{--}25^\circ$ со стороны самосвального кузова. Определение нагрузки $z_{1,2\text{под углом}}$ выполняется аналогично (1).

Расстояние L_2 определяют от места контакта колеса с опорной поверхностью к линии центра оси заднего колеса.

Расстояние c определяют от центра тяжести автосамосвала к линии центра оси колеса для автосамосвала с грузом и без груза по формуле

$$c_{\text{бгр,гр}} = (L_2 \cdot z_{1\text{под углом}}) / m, \text{ мм}; \quad (3)$$

$$c'_{\text{бгр,гр}} = (L_2 \cdot z_{2\text{под углом}}) / m, \text{ мм}. \quad (4)$$

По пересечении двух линий (линии MP , определяющей координату x_c , и линии KN , параллельной линии оси подвеса на расстоянии c от нее) определяют координату y_c .

Координату y_c определяют в точке пересечения линии параллельно линии оси подвеса на расстоянии c от нее и перпендикуляра, проведенного на расстоянии x_c к линии, параллельной координате x_c и проходящей через крайние точки базы автосамосвала. Полученные значения координаты y_c опосредствуют для автосамосвала без груза и с грузом по формуле

$$\bar{y}_c = (y_{c(\text{бгр,гр})} + y'_{c(\text{бгр,гр})}) / 2, \text{ мм}. \quad (5)$$

Проведенные исследования позволили установить, что для карьерного автосамосвала БелАЗ 7555В центр масс находится от передней оси на уровне 1960 и 2680 мм, а по высоте – 1322 и 1615 мм – соответственно, без груза и с грузом.

УДК 548.24

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА В СИСТЕМЕ «ПОЛОСА СДВИГА–ТРЕЩИНА»

А. А. Рюмцев, О. М. Остриков, Д. П. Шинкоренко

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

Цель работы заключалась в формировании методики определения и расчета напряжений в металлическом стекле в системе «полоса сдвига–трещина» при деформировании его поверхности сосредоточенной нагрузкой, а также при приложении к его поверхности распределенных сил.

Используя методику, приведенную в [1], можно представить, что нагружение производится сосредоточенной силой с нормальной составляющей P и касательной составляющей Q . Основываясь также на методике, описанной в [1], представим нагружение материала распределенными силами $p(y_0)$, $q(y_0)$ в соответствии с рис. 1.

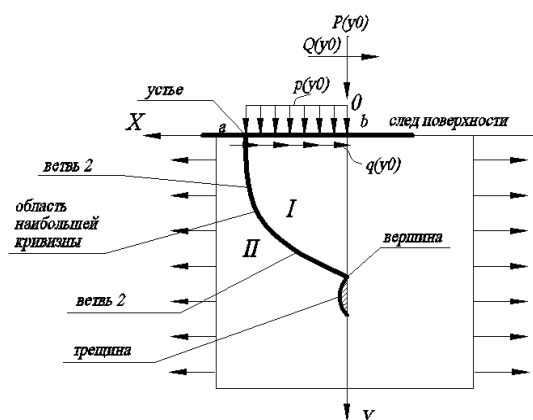


Рис. 1. Схематическое изображение системы «полоса сдвига–трещина» при расположении полосы сдвига у поверхности металлического стекла при действии на него распределенной ($p(y_0)$, $q(y_0)$) и сосредоточенной ($P(y_0)$, $Q(y_0)$) нагрузок

По методике, описанной в [1], определяем напряжения, вызванные в материале сосредоточенной силой $\sigma_{ij}^{(e)}(x, y)$: нормальной и касательной, ее составляющими, а в случае действия на материал распределенной нагрузки – напряжения, вызванные данным типом нагружения.

Дислокационную трещину будем моделировать как непрерывное распределение краевых дислокаций для трещины нормального отрыва (тип I, рис. 1) [2].

Для микротрещины нормального отрыва с модулем вектора Бюргерса $b_{кр}^{тр}$ каждой дислокации будет параллелен осям OX и OX_1 . Распределение напряжений находим с помощью соотношений (1)–(3):

$$\sigma_{xx}^{tp}(x, y) = \frac{\mu\sigma_{кр}^{tp}}{2\pi(1-\nu)} \int_0^{L_{тр}} \rho(\xi) \left[\frac{(x-B)[(x-B)^2 - ((y-\xi)-A)^2]}{[(y-\xi)-A]^2 + (x-B)^2} \right] d\xi; \quad (1)$$

$$\sigma_{yy}^{tp}(x, y) = \frac{\mu b_{кр}^{tp}}{2\pi(1-\nu)} \int_0^{L_{тр}} \rho(\xi) \left[\frac{(x-B)[(x-B)^2 - 3((y-\xi)-A)^2]}{[(y-\xi)-A]^2 + (x-B)^2} \right] d\xi; \quad (2)$$

$$\sigma_{xy}^{tp}(x, y) = \frac{\mu b_{кр}^{tp}}{2\pi(1-\nu)} \int_0^{L_{тр}} \rho(\xi) \left[\frac{(y-\xi)-A[(x-B)^2 - ((y-\xi)-A)^2]}{[(y-\xi)-A]^2 + (x-B)^2} \right] d\xi, \quad (3)$$

где $L_{тр}$ – длина трещины; A и B – проекции на оси OX и OY , позволяющие регулировать положение трещины относительно вершины полосы сдвига; μ – модуль сдвига; ν – коэффициент Пуассона.

В виду того, что у криволинейной полосы сдвига, находящейся у поверхности аморфного материала, возникают напряжения и при отсутствии внешнего воздействия, то общая картина распределения полей напряжений в материале будет представлять собой сумму напряжений, вызванных отдельно приложением сосредоточенной силы или распределенной, а также напряжений $\sigma_{ij}^{(0)}(x, y)$, возникающих от самой полосы сдвига, методика нахождения которых описана в работах [3], [4], а общая картина полей напряжений в металлическом стекле в системе «полоса сдвига–трещина» будет являться суммой вышеописанных напряжений:

$$\sigma_{ij}(x, y) = \sigma_{ij}^{tp}(x, y) + \sigma_{ij}^{(0)}(x, y) + \sigma_{ij}^{(e)}(x, y). \quad (4)$$

В результате расчетов получили картины полей напряжений при деформировании материала распределенной нагрузкой: в первом случае – при $p(y_0) = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$; $q(y_0) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$; втором – при $p(y_0) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$; $q(y_0) = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ (рис. 2, а и б, соответственно), а также при действии сосредоточенной силы на поверхность материала: в первом случае – при $P = 100 \text{ Н}$; $Q = 0 \text{ Н}$; втором – при $P = 0 \text{ Н}$; $Q = 100 \text{ Н}$ (рис. 2, в и г, соответственно).

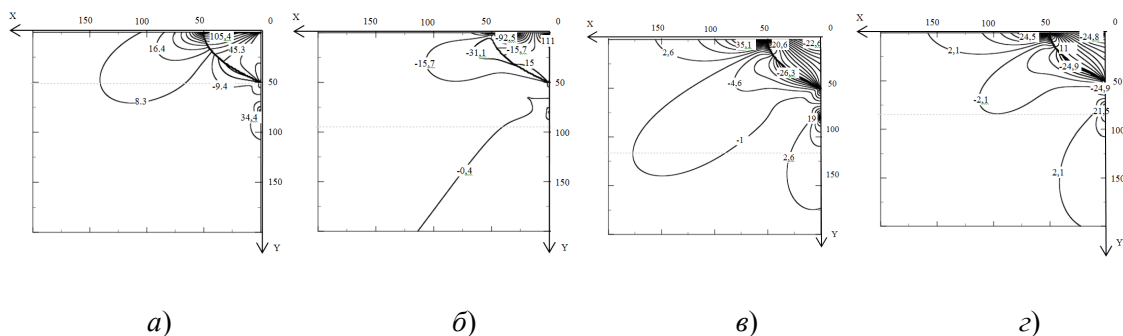


Рис. 2. Поля напряжений в металлическом стекле, вызванные нормальной составляющей распределенной силы (а), касательной составляющей (б); нормальной составляющей сосредоточенной силы (в), касательной ее составляющей (г)

Литература

1. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.
2. Астафьев, В. И. Нелинейная механика разрушения / В. И. Астафьев, Ю. Н. Радаев, Л. В. Степанова. – Самара : Изд-во «Самар. ун-т», 2001. – 562 с.
3. Верещагин, М. Н. Негомогенная пластическая деформация аморфных сплавов на основе железа : монография / М. Н. Верещагин, В. Г. Шепелевич, О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2004. – 134 с.
4. Рюмцев, А. А. Методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига типа чешуйчатого навала, находящегося у поверхности металлического стекла / А. А. Рюмцев, О. М. Остриков // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 4 (94). – С. 39–46.

УДК 621

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ УГЛОМ ПОВОРОТА КОРОМЫСЛОВОГО ТОЛКАТЕЛЯ КУЛАЧКА И УГЛОМ УДАЛЕНИЯ

А. Т. Бельский, И. С. Плешкунов

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

Кулачковые механизмы с плоским коромысловым толкателем (рис. 1) нашли широкое применение в техники, особенно в двигателях внутреннего сгорания.

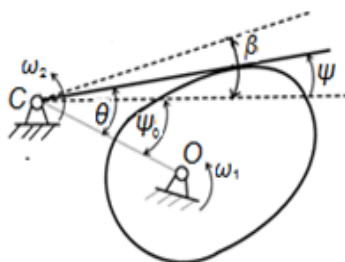


Рис. 1. Кулачок с коромысловым толкателем

Основным условием работоспособности такого механизма является условие выпуклости профиля кулачка, т. е. чтобы радиус кривизны профиля кулачка всегда был больше нуля:

$$\rho > 0.$$

Для определения радиуса профиля кулачка воспользуемся заменяющим механизмом (рис. 2).

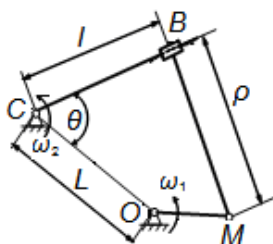


Рис. 2. Заменяющий механизм

Построив план скоростей и план ускорений для заменяющего механизма, нетрудно получить зависимость для определения радиуса кривизны в следующем виде:

$$\rho = L \frac{\frac{d^2\psi}{d\varphi^2} \cos \theta + \left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \left(1 - 2 \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \sin \theta}{\left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right)^3}.$$

В этом случае условие выпуклости кулачка будет иметь следующий вид:

$$\frac{\frac{d^2\psi}{d\varphi^2} \cos \theta + \left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \left(1 - 2 \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \sin \theta}{\left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right)^3} \geq 0.$$

Разделив обе части неравенства на $\cos \theta$, получим:

$$\frac{\frac{d^2\psi}{d\varphi^2} + \left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \left(1 - 2 \frac{d\psi}{d\varphi}\right) \operatorname{tg} \theta}{\left(1 - \frac{d\psi}{d\varphi}\right)^3} \geq 0.$$

Чтобы данное неравенство было больше нуля, необходимо, чтобы числитель и знаменатель имели одинаковые знаки.

Величина $1 - \frac{d\psi}{d\varphi}$ будет положительная, так как $\frac{d\psi}{d\varphi} = \frac{\omega_2}{\omega_1} < 1$. Так как знаменатель положителен, то и числитель тоже должен быть положительным.

Рассмотрим второе слагаемое числителя. Данное слагаемое будет отрицательным, если $1 - 2 \frac{d\psi}{d\varphi} < 0$, так как $1 - \frac{d\psi}{d\varphi} > 0$; $\operatorname{tg} \theta > 0$, полагая, что $\theta < 90^\circ$.

Чтобы слагаемое $1 - 2 \frac{d\psi}{d\varphi}$ было отрицательным, необходимо, чтобы $\frac{d\psi}{d\varphi} > \frac{1}{2}$.

Предположим, что максимальное значение $\frac{d\psi}{d\varphi} > \frac{1}{2}$. В этом случае при

$\frac{d\psi}{d\varphi} = \left(\frac{d\psi}{d\varphi}\right)_{\max}$ вторая производная $\frac{d^2\psi}{d\varphi^2}$ будет равна нулю, и все выражение будет отрицательным.

Таким образом, радиус кривизны профиля кулачка всегда будет больше нуля в том случае, если $\left(\frac{d\psi}{d\varphi}\right)_{\max} < \frac{1}{2}$.

Полученное значение дает возможность определить предельно допустимое значение для заданного закона движения величины $\frac{\beta}{\varphi_y}$, для этого необходимо опре-

делить $\left(\frac{d\psi}{d\varphi}\right)_{\max}$ и положить ее меньше $\frac{1}{2}$.

Литература

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин : учеб. для вузов / И. И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1988. – 640 с.

УДК 517.925

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СИСТЕМЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

В. А. Бельский

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

Различные задачи естествознания и практики приводят исследователя к необходимости моделирования реальных процессов с помощью дифференциальных уравнений или систем, поскольку существенная часть законов природы описывается на языке дифференциальных уравнений. При этом, если на моделируемую систему оказывается внешнее воздействие, то такая система будет неавтономной. Исследователя зачастую интересует вопрос, при каких условиях полученная динамическая система будет иметь общие свойства с некоторой автономной системой. Это объясняется тем, что автономные системы, особенно двумерные, гораздо более изучены.

В данной работе мы будем опираться на теорию отражающей функции, которая подробно изложена в работах [1], [2]. Опираясь на свойства этой функции, мы делаем вывод, что системы обладают одной и той же отражающей функцией, а количество периодических решений и их начальные данные у таких систем совпадают. Такие системы называют [1] эквивалентными.

Мы ставим перед собой задачу выяснить, какие неавтономные двумерные системы вида

$$\begin{aligned}\dot{x} &= X_1(t, x, y); \\ \dot{y} &= X_2(t, x, y)\end{aligned}\tag{1}$$

эквивалентны системе гармонического осциллятора:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= by; \\ \dot{y} &= cx,\end{aligned}\tag{2}$$

где b и c постоянны; $bc = -w^2 \neq 0$.

Таких систем много, и мы даже не будем пытаться найти их всех. Попробуем возмущать нашу систему (2) при помощи вектор-функции вида

$$\Delta = (f(t), g(t))^T,\tag{3}$$

зависящей, таким образом, только от времени t . Полиномиальные возмущения, сохраняющие отражающую функцию, рассматриваются в работах [3], [4].

Согласно теории отражающей функции, чтобы данное возмущение сохраняло эквивалентность полученной системы с системой (2), функция (3) должна удовлетворять системе в частных производных:

$$\frac{\partial \Delta(t, z)}{\partial t} + \frac{\partial \Delta(t, z)}{\partial z} X(t, z) - \frac{\partial X(t, z)}{\partial z} \Delta(t, z) = 0,\tag{4}$$

где $z = (x, y)^T$.

Заменив в (4) Δ в соответствии с (3), а $X(t, z)$ – правой частью системы (2), мы приходим к линейной системе:

$$\begin{aligned} \dot{f} - bg &= 0; \\ \dot{g} - cf &= 0, \end{aligned}$$

из которой находим:

$$\begin{aligned} f &= bA \cos \omega t + bB \sin \omega t; \\ g &= -A \sin \omega t + B \cos \omega t, \end{aligned} \quad (5)$$

где A и B – произвольные константы.

Возмущая исходную систему (2) функциями вида $\alpha(t)\Delta(t)$, где $\alpha(t)$ – произвольная непрерывная нечетная вектор-функция, а $\Delta(t)$ определяется соотношениями (5), мы не выводим нашу систему гармонического осциллятора из ее класса эквивалентности. Таким образом, искомую систему (1), эквивалентную системе гармонического осциллятора (2), мы получили в виде

$$\begin{aligned} \dot{x} &= by + \alpha_1(t)(bA \cos \omega t + bB \sin \omega t); \\ \dot{y} &= cx + \alpha_2(t)(-A \sin \omega t + B \cos \omega t). \end{aligned}$$

Системы, эквивалентные системе гармонических колебаний, изучались также в работе [5].

Литература

1. Мироненко, В. И. Отражающая функция и исследование многомерных дифференциальных систем / В. И. Мироненко. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2004. – 196 с.
2. Мироненко, В. И. Отражающая функция и периодические решения дифференциальных уравнений / В. И. Мироненко. – Минск : Университетское, 1986. – 76 с.
3. О построении дифференциальных полиномиальных уравнений первого порядка, эквивалентных заданному в смысле совпадения отражающей функции / В. А. Бельский // Дифференц. уравнения. – 2012. – Т. 48, № 1. – С. 13–20.
4. Бельский, В. А. О полиномиальных возмущениях уравнения Абеля, не изменяющих отражающей функции / В. А. Бельский, В. И. Мироненко // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – № 4 (9). – С. 79–85.
5. Вареникова, Е. В. О периодических решениях неавтономных двумерных дифференциальных систем / Е. В. Вареникова // Вестн. Гродн. гос. ун-та им. Я. Купалы. Сер. 2. – 2011. – № 1. – С. 20–23.

УДК 539.12

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАБЛЮДАЕМЫХ ВЕЛИЧИН ДВУХЧАСТИЧНЫХ РАСПАДОВ

В. Ю. Гавриш, К. Д. Поляков

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

Введение. Проблема расчета квантово-полевых амплитуд с последующим вычислением наблюдаемых величин для различных процессов рассеяния или распадов частиц является важной и актуальной задачей физики высоких энергий и физики элементарных частиц. Несмотря на достаточно развитый аппарат расчетов (см. [1]–[4]),

поиск новых методов расчета матричных элементов переходов ведется и в настоящее время.

В данной работе авторы, основываясь на ранее полученных результатах, продемонстрируют методику получения выражений для расчета наблюдаемых величин распадов частиц в случае, если конечное состояние – двухчастичное. Как результаты вычислений будут получены выражения для дифференциальных ширин распадов в случаях, когда массы конечных частиц отличны от нуля, а также равны друг другу.

Работа носит методический характер: в разделе 1 авторы получают общее выражение расчета дифференциальных ширин, затем, как результат, в разделе 2 получены выражения для различных конфигураций масс конечного фазового пространства.

1. Постановка задачи. Выражение для дифференциальной ширины распада в случае, когда исходная частица покоится, имеет следующий вид [1]:

$$d\Gamma = (2\pi)^4 \frac{1}{2M} \delta^{(4)}(P - (k_1 + k_2)) |M_{fi}|^2 \frac{d^3k_1}{(2\pi)^3 2E_1} \frac{d^3k_2}{(2\pi)^3 2E_2}, \quad (1)$$

где M – масса исходной частицы; E_1, E_2 – энергии первой и второй конечной частицы, соответственно. Отметим, что явный вид матричного элемента M_{fi} зависит от спинов начальных и конечных частиц.

Придадим выражению (1) законченный вид: воспользовавшись тем, что в системе покоя начальной частицы $P = \{M, 0, 0, 0\}$, с учетом законов сохранения имеем:

$$M = E_1 + E_2, |\vec{k}_1| = |\vec{k}_2| = |\vec{k}|, \quad (2)$$

откуда для (1) получаем:

$$d\Gamma = \frac{1}{32\pi^2 M^2} |M_{fi}|^2 |\vec{k}| d\Omega. \quad (3)$$

По выражению (3) видно, что конечная формула дифференциальной ширины $d\Gamma$ зависит от явного вида конечного импульса $|\vec{k}|$, вычисление которого обсуждается ниже.

2. Ширины распада для различных конфигураций масс конечных частиц. Проблема вычисления фазового пространства авторами обсуждалась в работе [5], поэтому в данной работе мы приведем только конечные результаты.

Рассмотрим случай, когда массы конечных частиц одинаковы. В данном случае:

$$|\vec{k}| = \frac{1}{2} M \sqrt{1 - \frac{4m^2}{M^2}}, \quad (4)$$

откуда, из (3) нетрудно получить:

$$d\Gamma = \frac{1}{64\pi^2 M} |M_{fi}|^2 \sqrt{1 - \frac{4m^2}{M^2}} d\Omega. \quad (5)$$

В случае, когда масса одной из частиц равна нулю, соответственно:

$$|\vec{k}| = \frac{1}{2} \left(\frac{M^2 - m^2}{M} \right); \quad (6)$$

из выражения (3) с учетом (6) получаем:

$$d\Gamma = \frac{1}{64\pi^2 M} |M_{fi}|^2 \left(1 - \frac{m^2}{M^2}\right) d\Omega. \quad (7)$$

В простейшем случае, когда массы частиц равны нулю, получаем:

$$|\vec{k}| = \frac{1}{2} M, \quad (8)$$

что приводит к

$$d\Gamma = \frac{1}{64\pi^2 M} |M_{fi}|^2 d\Omega. \quad (9)$$

Расчет интегральных ширин $\Gamma = \int d\Gamma$ в явном виде становится возможен после конкретизации процесса распада: данная особенность связана с тем, что матричный элемент перехода M_{fi} является функцией многих переменных, в том числе и углов «вылета» частиц.

Заключение. Работа посвящена получению выражений для дифференциальных ширин распадов в случае двухчастичного конечного состояния. В ходе работы авторами получены формулы расчета наблюдаемых с учетом различных конфигураций масс конечного состояния в системе покоя распадающейся частицы.

Полученные результаты будут использованы авторами для расчета наблюдаемых величин различных процессов распадов псевдоскалярных и векторных частиц.

Литература

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 2006. – Т. IV. Квантовая электродинамика.
2. Биленький, С. М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия / С. М. Биленький. – М. : Энерго-атомиздат, 1990. – 327 с.
3. Хелзен, Ф. Лептоны и кварки: введение в физику частиц / Ф. Хелзен, А. Мартин. – М. : Мир, 1987. – 456 с.
4. Borodulin, V. I. CORE: COmpendium of RELations: Version 2.1/ V. I. Borodulin, R. N. Rogalyov, S. R. Slabospitsky // CORE. – Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9507456v1>. – Date of access: 10.10.2018.
5. Поляков, К. Д. Интегрирование фазового пространства для двухчастичного распада / К. Д. Поляков, В. Ю. Гавриш // Актуальные вопросы физики и техники : материалы V Респ. науч. конф. студентов и аспирантов : в 2 ч. / ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель. – 2017. – С. 59–61.

УДК 539.12

БИСПИНОРЫ ДИРАКА В Z-ПРЕДСТАВЛЕНИИ

В. Ю. Гавриш, В. П. Караханов

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

Введение. Вычисление матричных элементов процессов распада или рассеяния с участием частиц полуцелого $\left(\frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar\right)$ спинов [1] является основной задачей фи-

зики высоких энергий при расчете наблюдаемых стандартной модели. Так, к примеру, процессы распада псевдоскалярных мезонов в лептонную пару дают возможность оценить значения углов матрицы Коббибо-Кабаяши [2], распады векторных промежуточных бозонов – значения углов Вайнберга [3], [4] и т. д. Из вышеуказанного следует, что расчет подобных процессов является важной задачей теоретической физики и физики элементарных частиц.

В данной работе авторами обсуждается вопрос о явном виде биспиноров Дирака, которые описывают состояния частиц полуцелых спинов. Известно, что такие конструкции являются решением уравнения Дирака, в которое входят матрицы Дирака. В общем случае данные матрицы могут быть выбраны в различных видах [4] в зависимости от изучаемых процессов и поляризации начальных и конечных частиц.

Работа носит методический характер: в разделе 1 авторы кратко обсуждают уравнение Дирака, решением которого и являются искомые биспиноры, в разделе 2 приведен явный вид биспиноров в стандартном представлении. Для краткости во всей работе использована система $\hbar = c = 1$ [2].

1. Релятивистское уравнение частиц полуцелого спина. Известно [1]–[4], что уравнение частицы полуцелого спина массы m импульса \vec{p} :

$$(\hat{p} - m)u_\lambda(\vec{p}, m) = 0, \quad (1)$$

в случае фермиона и

$$(\hat{p} + m)v_\lambda(\vec{p}, m) = 0, \quad (2)$$

в случае антифермиона. Отметим, здесь и далее нами используется обозначение:

$$\hat{p} = p_0\gamma^0 - \vec{p}\vec{\gamma}; p_0 = \sqrt{\vec{p}^2 + m^2}, \quad (3)$$

а $\lambda = \pm \frac{1}{2}$ – спиральность частицы [2], [3]. Используя стандартное представление матриц Дирака [2] из (1), нетрудно получить:

$$u_\lambda(\vec{p}, m) = \sqrt{p^0 + m} \begin{pmatrix} \chi^\lambda \\ \frac{\vec{\sigma}\vec{p}}{p^0 + m} \chi^\lambda \end{pmatrix} \quad (4)$$

для частицы и

$$v_\lambda(\vec{p}, m) = -2\lambda\gamma^5 u_{-\lambda}(\vec{p}, m), \quad (5)$$

для античастицы (отметим, что явный вид матриц γ и γ^5 по соображениям краткости не приводится).

2. Явный вид биспиноров Дирака. Дальнейшие выкладки будем осуществлять с учетом явного вида спиноров χ^λ . Отметим, что в любом из представлений, основным требованием для таких конструкций является:

$$\sum_\lambda \chi^{*\lambda} \chi^\lambda = I, \quad (6)$$

которое называют условием нормировки.

В данной работе будем использовать спиноры в z -представлении: в таком случае χ^λ запишутся в виде

$$\chi^{1/2} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \chi^{-1/2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Используя (4) и (7) для частицы, получим следующий явный вид спиноров Дирака:

$$u_{\lambda=1/2}(\vec{p}, m) = \begin{pmatrix} \sqrt{p^0 + m} \\ 0 \\ \frac{p_z}{\sqrt{p^0 + m}} \\ \frac{p_x + ip_y}{\sqrt{p^0 + m}} \end{pmatrix}; \quad (8)$$

$$u_{\lambda=-1/2}(\vec{p}, m) = \begin{pmatrix} 0 \\ \sqrt{p^0 + m} \\ \frac{p_x - ip_y}{\sqrt{p^0 + m}} \\ \frac{-p_z}{\sqrt{p^0 + m}} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Явный вид биспиноров (5) получают аналогично, поэтому здесь он не приводится.

Заключение. Работа посвящена получению выражений для биспиноров Дирака в случае стандартного представления матриц Дирака: в ходе работы авторы, основываясь на известных уравнениях частиц полусцелого спина, определили явный вид биспиноров в z -представлении.

Полученные результаты будут использованы авторами для расчета наблюдаемых величин различных процессов распадов псевдоскалярных и векторных частиц.

Литература

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 2006. – Т. IV. Квантовая электродинамика.
2. Биленький, С. М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия / С. М. Биленький. – М. : Энерго-атомиздат, 1990. – 327 с.
3. Хелзен, Ф. Лептоны и кварки: введение в физику частиц / Ф. Хелзен, А. Мартин. – М. : Мир, 1987. – 456 с.
4. Borodulin, V. I. CORE: COmpendium of RELations: Version 2.1 / V. I. Borodulin, R. N. Rogalyov, S. R. Slabospitsky // CORE. – Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9507456v1>. – Date of access: 10.10.2018.

УДК 532.516

ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Д. Г. Кроль, А. А. Хорт

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

Задача о течении вязкой жидкости между двумя коаксиальными вращающимися цилиндрами относится к классическим проблемам гидродинамики. Прикладные аспекты данного вопроса связаны с гидродинамической теорией смазки, формированием вихревых структур в природных и технических гидродинамических системах. Цилиндрическое течение Куэтта описывается точным решением стационарных уравнений Навье–Стокса и определяет ламинарное движение ньютоновской жидкости, возникающее при относительном вращении двух цилиндров. В данной работе рассмотрим класс стационарных цилиндрических течений вязкой несжимаемой жидкости в полярных координатах (r, φ) :

$$v_r \equiv 0, \quad v_\varphi = v(r), \quad p = p(r), \quad T = T(r), \quad F_r \equiv 0, \quad F_\varphi = F_\varphi(v^2, T, r), \quad q_v = q_v(v^2, T, r); \quad (1)$$

$$\tau_{rr} \equiv 0; \quad \tau_{\varphi\varphi} \equiv 0; \quad \tau_{r\varphi} = \mu \left(\frac{dv}{dr} - \frac{v}{r} \right); \quad c_p, \lambda, \mu, \rho - \text{const},$$

где $\mathbf{v}(v_r, v_\varphi)$ – вектор скорости; ρ – плотность; $\mathbf{F}(F_r, F_\varphi)$ – вектор массовой силы; $\tau_{rr}, \tau_{\varphi\varphi}, \tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi r}$ – компоненты деватора тензора напряжений; T – температура; c_p – удельная теплоемкость; λ – коэффициент теплопроводности; μ – коэффициент динамической вязкости. Будем изучать неклассический вариант задачи о течении жидкости между соосными вращающимися цилиндрами, в котором учитывается рэлеевская сила сопротивления $\mathbf{F} = -\zeta \mathbf{v}$, где $\zeta > 0$ – коэффициент «внешнего» трения. Полагаем, что коэффициент сопротивления монотонно растет при увеличении $|\mathbf{v}|$ и является четной функцией скорости: $\zeta = \zeta(v^2, T, r)$, $\partial \zeta / \partial (v^2) > 0$. Объемный источник энергии $q_v(v^2, T, r)$ моделирует воздействие внутренних источников тепла и теплообмен жидкости с внешней средой. Для диссипативной функции Φ принимаем оценку $\Phi \ll |q_v|$, т. е. рассматриваем процессы, для которых можно пренебречь выделением тепла за счет вязкой диссипации энергии.

Данная работа имеет целью изучить количественные характеристики воздействия нелинейной силы сопротивления на неоднородное течение между вращающимися цилиндрами. На рис. 1 представлены некоторые результаты расчетов для варианта, когда внутренний цилиндр $r = r_0$ неподвижен; $v_\varphi(r = r_0) = 0$, а внешний цилиндр $r = r_1$ вращается с постоянной угловой скоростью $\omega_1 = v_\varphi(r = r_1) / r_1$.

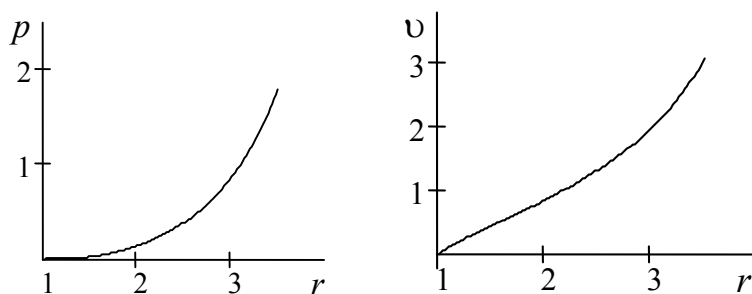


Рис. 1. Течение между двумя коаксильными цилиндрами при неподвижном внутреннем цилиндре

Численные расчеты позволили подробно изучить новое точное аналитическое решение, определяющее стационарное течение вязкой жидкости между двумя коаксиальными цилиндрами. Рассмотрены также варианты течения, когда внешний цилиндр неподвижен и оба цилиндра (внешний и внутренний) подвижны. Данная работа – продолжение исследований [1].

Работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергетические системы, процессы и технологии 2.9». Научный руководитель проекта – профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Шабловский, О. Н. Нелинейное сопротивление и завихренность течения жидкости между коаксиальными вращающимися цилиндрами / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль, И. А. Концевой // Ученые зап. Забайкал. гос. ун-та. Физика. Математика. Техника. Технология. – 2016. – Т. 11, № 4. – С. 59–68.

УДК 621.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКИХ МЕХАНИЗМОВ ВЫСОКИХ КЛАССОВ МЕТОДОМ ИНВЕРСИИ

Н. В. Иноземцева, А. В. Астрейко

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

Рост научно-технического прогресса требует создания новых, более совершенных и точных механизмов и машин. Одним из путей создания таких машин является применение механизмов, имеющие улучшенные параметры. К таким механизмам относят механизмы высоких классов, включающих группы Ассур класса выше 2-го. Эти механизмы отличаются более сложными законами движения рабочих органов и применяются не столь широко [1]. Успешному применению подобных механизмов длительное время препятствовало отсутствие соответствующих алгоритмов анализа и синтеза. В данной работе мы частично решаем эту проблему для механизмов с группой Ассур 3-го класса. Цель работы – определение кинематических параметров механизма с группой Ассур 3-го класса.

Рассмотрим плоский рычажный механизм (рис. 1). Примем в данном механизме звено 2 за входное. Далее этот механизм будем называть первичным. Первичный механизм состоит из двух структурных групп: начального механизма I (1, 2) и группы Ассур 3-го класса III (3–6).

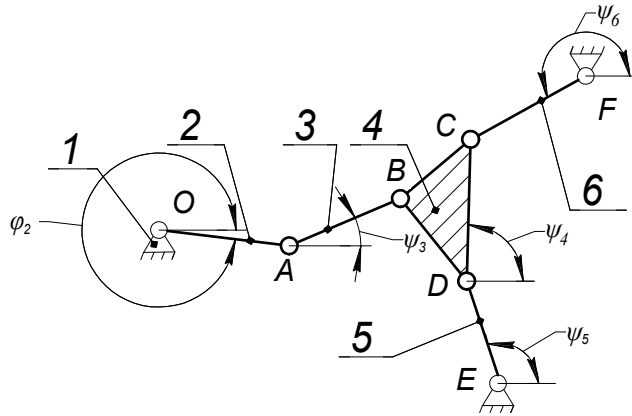


Рис. 1. Расчетная схема механизма

Решение задачи кинематики первичного механизма связано с известными трудностями на самом первом этапе кинематического анализа – определения положений звеньев механизма, т. е. угловых координат $\psi_3 - \psi_6$. При аналитическом способе кинематического анализа координаты $\psi_3 - \psi_6$ определяются из системы нелинейных уравнений, имеющих несколько вариантов решений (по количеству сборок механизмов). В общем случае для рассматриваемой группы Асура 3-го класса число сборок равно шести (см., например, [2]).

Для упрощения и дальнейшего решения задачи кинематического анализа применим метод инверсии [3]. Суть метода заключается в условной замене входного звена. Для механизма (рис. 1) назовем звено 5 входным, т. е. этот механизм будет состоять уже из трех структурных групп: начального механизма I(1, 5) и двух групп Асура 2-го класса. В дальнейшем будем называть этот механизм обращенным. Формула строения обращенного механизма имеет следующий вид:

$$I(1, 5) \rightarrow II(4, 6) \rightarrow II(2, 3). \tag{1}$$

Из формулы (1) видно, что обращенный механизм является типовым, для которого разработаны алгоритмы кинематического анализа [4]. Для обращенного механизма все кинематические характеристики будем обозначать верхним индексом *. Задаваясь положением ψ_5^* звена 5, находим аналитически угловые координаты звеньев $\varphi_2^* - \psi_6^*$ [4]. После определения положений звеньев механизма решаем задачу о скоростях и ускорениях. Выбирая произвольно значение угловой скорости 5-го звена $\omega_5^* = \text{const}$, находим угловые скорости и угловые ускорения звеньев: $\omega_2^* - \omega_4^*$, ω_6^* , $\varepsilon_2^* - \varepsilon_4^*$ и ε_6^* . Первую и вторую передаточную функцию от звена i к звену 2 определяем по формуле

$$\frac{d\psi_i}{d\varphi_2} = \frac{\omega_i^*}{\omega_2^*}, \quad \frac{d^2\psi_i}{d\varphi_2^2} = \frac{\varepsilon_i^* - (d\psi_i/d\varphi_2) \cdot \varepsilon_2^*}{(\omega_2^*)^2}, \tag{2}$$

где $i = 3, 4, 5, 6$.

Уравнения (2) определяют кинематические передаточные функции звеньев, которые в общем случае не зависят от скорости и ускорения входного звена и совпадают для первичного и обращенного механизмов.

Угловая скорость и угловое ускорение звена первичного механизма определяются по формулам [4]:

$$\omega_i = \frac{d\psi_i}{d\varphi_2} \omega_2; \quad \varepsilon_i = \frac{d^2\psi_i}{d\varphi_2^2} \omega_2^2 + \frac{d\psi_i}{d\varphi_2} \varepsilon_2; \quad i = 3, 4, 5, 6. \quad (3)$$

Таким образом, с помощью метода инверсии получены кинематические параметры звеньев (см. (3)) механизма 3-го класса.

Вывод. Кинематический анализ механизмов 3-го класса может быть выполнен путем условной замены входного звена с одновременным понижением класса механизма до 2-го типовыми алгоритмами кинематического анализа групп Ассур 2-го класса.

Л и т е р а т у р а

1. Джолдасбеков, У. А. Графо-аналитические методы анализа и синтеза механизмов высоких классов / У. А. Джолдасбеков. – Алма-Ата, 1983. – 256 с.
2. Пейсах, Э. Е. Определение положений звеньев трехповодковой и двухповодковой четырехзвенных групп Ассур с вращательными парами / Э. Е. Пейсах // Машиноведение. – 1985. – № 5. – С. 55–61.
3. Shai, O. Transforming engineering knowledge through graph representations: transferring the Willis method to linkages and trusses / O. Shai, E. Mohr // Engineering with computers. – 2004. – Vol. 20. – Iss. 1. – P. 2–10.
4. Теория механизмов и машин : учеб. пособие для вузов / М. З. Коловский [и др.]. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 558 с.

УДК 621.793.092

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО СОВМЕСТНОЙ ВЫТЯЖКОЙ

М. И. Лискович, М. И. Картавый

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

Существует множество различных способов нанесения порошковых покрытий на металлическую основу. Каждый из них требует отдельного подхода, разработки теории и практики нанесения покрытия на основу. Одним из способов нанесения покрытия является способ изготовления полых композиционных изделий совместной вытяжкой покрытия и основы [1], [2]. Данный способ позволяет получать цельноштампованные композиционные втулки с повышенной точностью размеров по сравнению с аналогичными изделиями, получаемыми гибкой и калибровкой.

Плотность и пористость металлопорошковых изделий и покрытий существенно влияет на их свойства. Изменяя плотность покрытия, например, при изготовлении подшипников скольжения, можно регулировать прочность, износостойкость, долговечность покрытия, маслоспособность, продолжительность работы без смены смазки, коэффициент трения.

Целью работы является получение заданной величины плотности и пористости покрытия получаемого совместной вытяжкой в зависимости от величины обжатия материала покрытия.

Процесс совместной вытяжки металлической заготовки и порошка происходит с помощью матрицы и пуансона. Полученная предварительной вытяжкой полая металлическая заготовка устанавливается на матрицу. Между боковыми стенками заго-

товки и пуансоном засыпается порошок и перемещением пуансона осуществляют совместную вытяжку металлической основы и материала покрытия, получая композиционное изделие. Технологическими параметрами процесса совместной вытяжки являются: диаметр отверстия в матрице, определяющий диаметр композиционного изделия; диаметр пуансона; толщина стенок основы перед совместной вытяжкой; диаметр полый металлической заготовки; масса засыпки порошка.

Отсутствие теоретических и опытных данных, касающихся плотности и пористости металлопорошкового покрытия, получаемого совместной вытяжкой покрытия и основы, делает необходимым поиск зависимости между этими величинами и величиной относительного обжатия опытным путем.

Для получения различной плотности и пористости покрытие наносилось с различной степенью обжатия, т. е. отношением начальной и конечной толщины покрытия. Для этого использовались пуансоны различного диаметра при одной и той же матрице, а также варьировалась толщина основы. В результате относительное обжатие порошкового покрытия принимало значения: 2,59; 2,99; 4,97; 9,83; 15,67; 18,00.

Плотность и пористость покрытия определялась после совместной вытяжки по ГОСТ 18898–89 методом взвешивания их на воздухе и в воде.

По результатам экспериментов был построен график зависимости плотности покрытия от величины относительного обжатия порошка (рис. 1).

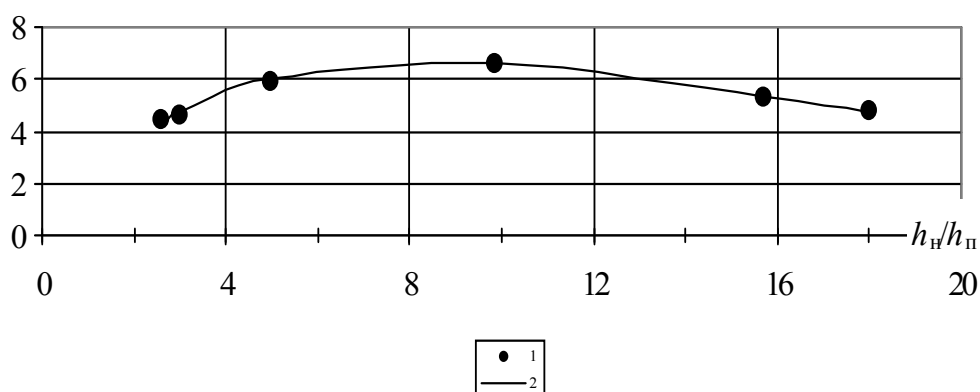


Рис. 1. График зависимости плотности покрытия от величины относительного обжатия порошка: 1 – средние опытные значения плотности; 2 – эмпирическая линия зависимости значения плотности от величины относительного обжатия

Зависимость имеет нелинейный характер. Максимальные значения плотности покрытия достигаются при относительном обжатии 8–10. При дальнейшем увеличении величины обжатия плотность покрытия уменьшается. Это может быть объяснено тем обстоятельством, что в интервалах относительного обжатия более 10 вытяжка основы шла с утонением стенок. Переход от вытяжки без утонения стенок к вытяжке с утонением стенок существенно меняет напряженное состояние в материале основы: из плоского напряженного оно переходит в объемную схему с двумя главными напряжениями сжатия и одним – растяжения. Меняется и характер деформации материала основы, так как уменьшение толщины стенок приводит к интенсивному удлинению волокон металла в направлении главного напряжения растяжения. И можно предположить, что при вытяжке без утонения стенок основы обжатие материала покрытия происходит постепенно до его входа в зазор между пуансоном и матрицей, причем в сам момент входа в зазор существенного скачка давлений или относитель-

ного смещения материала основы не происходит. Решающее значение играют сжимающие напряжения, действующие на материал покрытия со стороны основы и со стороны пуансона, а сдвигающие напряжения на границах «основа–покрытие» и «покрытие–пуансон» не играют значительной роли.

Условия при вытяжке с утонением стенок основы до момента входа материала основы и материала покрытия в зазор между пуансоном и матрицей можно считать практически такими же, как и при вытяжке без утонения стенок основы, а появление существенных отличий – только начиная с момента входа материалов в зазор.

Значительное увеличение нормальных напряжений сжатия и касательных напряжений сдвига на границе между основой и материалом покрытия при входе в зазор в этом случае, в особенности именно рост сдвигающих напряжений, может объяснить полученный экспериментально характер изменения относительной плотности с увеличением величины обжатия порошка.

В результате расчетов получена эмпирическая зависимость плотности покрытия от величины обжатия, которая изображена на рис. 1. Разность между опытными и расчетными величинами не превысила 3 %.

Это позволяет сделать вывод о том, что задавая степень обжатия порошка, мы можем получать требуемую плотность и пористость покрытия.

Литература

1. Способ изготовления полого композиционного изделия : пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В 21 D 22/20, В 22 F 3/02 / М. И. Лискович, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; заявл. 25.05.98 ; опубл. 30.06.01 // Афіц. бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2001. – № 2 (29). – С. 174.
2. Способ изготовления полого композиционного изделия : пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В 21 D 22/20, В 22 F 3/10 / М. И. Лискович, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; заявл. 16.05.05 ; опубл. 30.08.08 // Афіц. бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4 (63). – С. 153.

УДК 656.072

К ЗАДАЧЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Н. С. Сталович, С. Ф. Андреев

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

Цель данной работы – моделирование оптимальных условий городских пассажирских перевозок, снижающих транспортную усталость населения, важным показателем которой является время, затраченное пассажиром на внутригородские перемещения.

С точки зрения теории систем, процесс функционирования городского пассажирского транспорта (ГПТ) представляет собой большую систему городских пассажирских перевозок (ГПП) с присущими ей всеми признаками, что оправдывает применение математического моделирования. Так как система обслуживания городского населения транспортом подвержена случайным возмущениям, вносимым как со стороны поступления заявок на перевозки (непредвиденные колебания пассажиропотоков), так и со стороны обслуживающих каналов (непредвиденный отказ единиц подвижного состава), то за базис формирования математической модели ГПТ принимаем аппарат теории сетей массового обслуживания (СеМО) [1].

При моделировании СеМО ГПТ будем исходить из того, что основным способом существования систем такого класса является обмен людскими и материальными ресурсами, который реализуется в виде случайных потоков требований на обслуживание. Каждому такому потоку соответствует независимая последовательность моментов времени, в которые эти события происходили. Основной задачей СеМО ГПТ является перевозка пассажиров. Техническое обслуживание транспортных единиц и обеспечение дорожных условий для движения транспортных единиц по маршрутам – второстепенные задачи.

В связи с указанными задачами назовем подсистемы СеМО ГПТ как взаимосвязанные друг с другом системы массового обслуживания (СМО):

1) СМО УДС – улично-дорожная сеть, обеспечивающая необходимую пропускную способность для транспортных единиц, это разветвленные маршруты различных видов пассажирского транспорта. На каждом маршруте расположено определенное число остановочных пунктов. СМО УДС, состоящая из определенного числа маршрутов разных видов транспорта, обслуживает маршрутные потоки транспортных единиц (ТЕ). На каждый маршрут выделяется необходимое число транспортных единиц. По параметрам СМО УДС определяется: а) время отправления транспортной единицы от начального остановочного пункта маршрута; б) время прибытия транспортной единицы на промежуточные остановочные пункты маршрута; в) время ожидания транспортной единицы на промежуточном остановочном пункте. Некоторые промежуточные остановочные пункты исследуемого маршрута могут одновременно принадлежать другим маршрутам улично-дорожной сети, проходящим чрез эти пункты;

2) СМО ПЗ – пешеходная зона, обеспечивающая пешеходную доступность к остановочным пунктам. В пешеходных зонах зарождается пешеходный пассажиропоток, который с интенсивностью $\lambda_{л0_i}$, направляется к ближайшему остановочному пункту. Пешеходный пассажиропоток – это независимая последовательность моментов времени попадания пассажира в различные состояния в пешеходной зоне. В СМО ПЗ решается задача определения времени пешеходного подхода пассажира к остановочному пункту. Остановочные пункты выполняют роль накопителей заявок на транспортное обслуживание транспортными единицами исследуемого маршрута. Здесь же формируются матрицы корреспонденций $\|R_{ij}\|$, для формирования которых используется информация о пассажиропотоках;

3) СМО ТП – транспортные предприятия различных видов пассажирского транспорта, обеспечивающие надежность функционирования транспортных единиц на маршрутах.

Поток транспортных единиц в СМО УДС – последовательность моментов времени нахождения ТЕ в состояниях: а) движение по перегонам с различной пропускной способностью; б) остановка на регулируемом перекрестке; в) остановка для высадки-посадки пассажиров; г) остановка на конечном остановочном пункте.

Поток транспортных единиц с эксплуатационными отказами в СМО ТП – независимая последовательность моментов отказов ТЕ, находящихся в СМО УДС. Для процесса технического обслуживания и ремонта транспортных единиц возможны следующие состояния: а) безотказное функционирование ТЕ на маршруте; б) отказ ТЕ; транспортировка в пункт ремонта; в) ожидание ремонта в очереди; г) ремонт ТЕ; д) ожидание выхода на УДС исправной ТЕ.

Для СеМО ГПТ принимаются заявки: а) на пассажирские перевозки, не одинаковые по объему, зависящие от времени и места нахождения пассажира; б) на обслуживание транспортных единиц при их передвижении по УДС; в) на техническое

обслуживание и ремонт транспортных единиц. Каналами обслуживания в такой сети будем считать соответственно: подвижной состав, улично-дорожную сеть, включающую перекрестки, перегоны и остановочные пункты, а также все технические посты транспортных предприятий. Активным агентом в СеМО ГПТ будем считать пассажиропоток, направленный из остановочного пункта A_i в пункт A_j . Интенсивность потока транспортных единиц является функцией пассажиропотока, учитывающей затраченное пассажиром время на подход пассажира к остановке; ожидание пассажиром транспорта; посадку в транспортную единицу, пересадку на другой маршрут, передвижение в транспортной единице. На рис. 1. показан обобщенный граф состояний пассажира, иллюстрирующий его участие в процессе функционирования трех систем массового обслуживания.

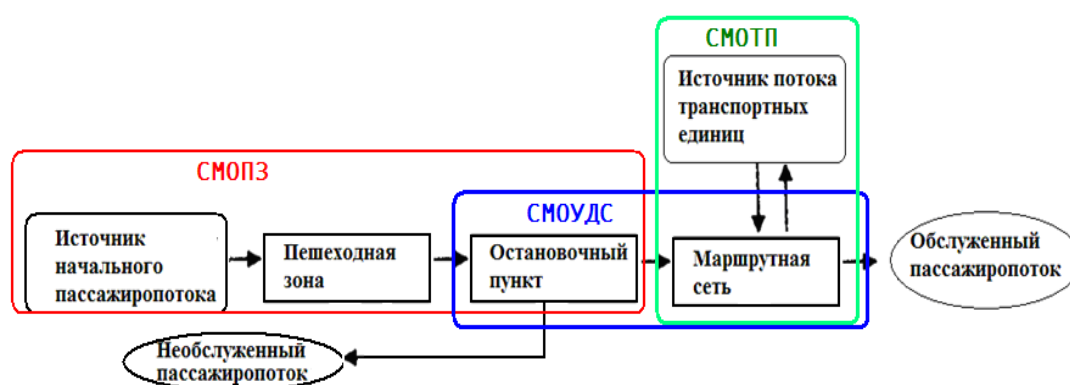


Рис. 1. Граф состояний пассажира

В полученной нами математической модели время, затраченное пассажиром, определяется как функция переменных по времени вероятностей нахождения всех участвующих в процессе заявок в соответствующих этим заявкам состояниях. Зависимости вероятностей от времени находятся решением систем уравнений Колмогорова, составленных по размеченным графам состояний всех участвующих в процессе пассажирских перевозок заявок на обслуживание.

Л и т е р а т у р а

1. Ивницкий, В. А. Теория сетей массового обслуживания / В. А. Ивницкий – М. : Физ.-мат. лит., 2004. – 772 с.

УДК 621

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МГНОВЕННОГО ЦЕНТРА ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН

И. А. Осадчий, И. П. Кавриго

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск

Сегодня активно проводятся исследования по развитию новых методов представления и анализа вибрационных сигналов электрических машин. Перспективными в этой области являются методы, основанные на анализе графических представлений вибрации: траектория орбиты вала, полный спектр вибраций, логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика (диаграмма Боде). Названные методики пред-

ставления вибрационных сигналов имеют свои достоинства и недостатки. Поскольку для диагностирования разных видов неисправностей электрических машин эффективными могут оказаться разные методы, то для успешного решения задач диагностики крайне важно иметь набор различных «инструментов» диагностирования [1].

Целью данного исследования является развитие простых и доступных технологий и методик вибрационного диагностирования роторных машин путем разработки относительно простой методики получения диагностических параметров объекта по динамике его мгновенного центра вращения (МЦВ).

Используя теорему Эйлера о конечном перемещении, произвольное движение ротора в каждый момент времени представляется как его вращение вокруг мгновенной оси, проходящей через мгновенный центр вращения. Это позволяет произвольное движение ротора в каждый момент времени описать через его угловые перемещения. Из курса теоретической механики известно, что важной характеристикой вращательного движения является его интенсивность. Мерой интенсивности является момент инерции, который характеризует распределение масс всех материальных точек системы. При сложном движении твердого тела его кинетическая энергия может быть представлена через энергию поступательного и вращательного движения [2]:

$$E_k = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J_c \omega^2}{2}, \quad (1)$$

где v_c – скорость поступательного движения тела (центра масс); J_c – момент инерции тела относительно мгновенной оси вращения, проходящей через центр масс; ω – угловая скорость вращения тела.

Учитывая, что в разработанной методике произвольное движение объекта рассматривается как ряд его угловых перемещений, то выражение (1) можно записать в виде

$$E_k = J_c \omega^2. \quad (2)$$

Из (2) видно, что при нулевой угловой скорости кинетическая энергия будет равна нулю, т. е. положение МЦВ является точкой с нулевой кинетической энергией, а также точкой локального мгновенного центра масс вращающегося объекта. Эти параметры имеют большое значение, как при анализе конструкций объекта, так и при его диагностике. Так, например, вращающийся механизм в виде вала в собственных опорах имеет три оси: геометрическую, кинетическую и ось вращения. В идеальном случае все они должны совпадать. В противном случае возникает вибрация, источником которой может быть как сам вал, так и связанные с ним элементы конструкции. При этом анализ спектров вибросигнала может вызывать трудности, связанные с тем, что неисправность вала может породить гармоники, характеризующие неисправности других элементов конструкции, а также породить появление гармоник на кратных частотах [3]. Методика на основе анализа орбит вала предполагает построение орбит по значениям вектора виброскорости, что достаточно хорошо характеризует движение вала. Одновременно с этим вектор виброскорости не в полной мере характеризует кинетическую энергию вращательного движения вала, что подтверждается выражением (1).

Предлагаемая методика получения диагностических параметров заключается в следующем:

1. Установка на исследуемом объекте двух вибродатчиков, имеющих две (три) чувствительные (главные) оси.

2. Предварительная обработка измеренных вибрационных сигналов $\Pi(t)$, $\text{III}(t)$: усиление, фильтрация, выделение информативных компонентов (виброперемещение, виброскорость, виброускорение и их фазовые составляющие, амплитуда вибрации на резонансной частоте объекта, среднеквадратическое значение виброскорости).

3. Анализ спектра вибросигналов и определение информативных частот f_1, f_2, \dots, f_n (частоты собственных резонансов конструкции, рабочие частоты деталей изделия, а также кратные им частоты).

4. Вычисление МЦВ объекта для гармонических составляющих вибросигнала на каждой из информативных частот относительно положения одного из датчиков:

$$\begin{cases} x_{Mf_n} = r_{f_n} \cdot \sin \alpha_{f_n}; \\ y_{Mf_n} = \frac{r_{f_n}^2 + l^2 - r_{\Pi f_n}^2}{2l}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\alpha_{f_n}, \beta_{f_n}$ – углы с вершинами в точках крепления датчиков; $r_{f_n}, r_{\Pi f_n}$ – расстояния от МЦВ до точек крепления датчиков; l – расстояние между датчиками.

5. Построение траекторий динамики координаты МЦВ для каждой информативной частоты объекта. Также строится обобщенная траектория динамики координаты МЦВ, которые рассчитываются как среднее арифметическое координат на информативных частотах f_n за число оборотов N ротора для каждого ее углового положения φ . В общем случае для исправной роторной машины траектория координаты МЦВ представляет эллипс.

6. Оценка технического состояния объекта по следующим параметрам: отношение между большой и малой главными осями эллипса, изменение угла наклона большой оси эллипса, форма эллипса, существенное изменение размеров главных осей эллипса в процессе эксплуатации, неравномерность угловой скорости перемещения МЦВ.

Таким образом, использование МЦВ для построения орбит вала отличается от использования вектора виброскорости учетом полной кинетической энергии, характеризующей вращение вала. Это позволяет повысить достоверность диагностирования роторных машин.

Литература

1. Кобяков, И. Б. Использование векторных виброакселерометров в энергетике / И. Б. Кобяков // Вест. науч.-техн. развития. – 2008. – № 3. – С. 15–20.
2. Балицкий, Ф. Я. Диагностическая информативность полных спектров и орбит при анализе сигналов относительных вибросмещений вала в опорах скольжения / Ф. Я. Балицкий, А. Г. Соколова // Вестн. науч.-техн. развития. – 2010. – № 2. – С. 30–39.
3. Никитин, Н. Н. Курс теоретической механики : учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов / Н. Н. Никитин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
4. Русов, В. А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В. А. Русов. – Пермь : Вибро-центр, 2012. – 200 с.

УДК 519.87

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Л. Л. Великович

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

Приближение – начало познания
Хулио Кортасар

Любая разумная деятельность связана с добычей информации. Например, каждое измерение – это получение информации. При этом мы в большинстве случаев заменяем исходную ситуацию на какое-то ее упрощение – модель. Этот процесс можно представить в виде следующей схемы [1, с. 10] на рис. 1.

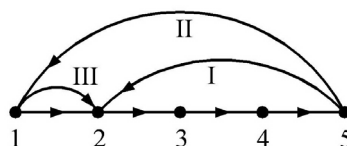


Рис. 1. Процесс познания в физике:

- 1 – реальная физическая ситуация; 2 – модельная физическая ситуация;
3 – математическая модель; 4 – математическая информация; 5 – физическая
интерпретация (информация); I – проверка на модельную адекватность;
II – проверка на реальную адекватность; III – преобразование модели
(в случае необходимости)*

Как правило, реальную ситуацию (объект, явление, процесс) удобно рассматривать в виде некоторой системы. Следуя В. Н. Волковой [2, с. 629], под системой будем понимать совокупность укрупненных компонентов, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой или создаваемой системы:

$$S \underset{def}{=} \langle \{Z\}, \{Str\}, \{Tech\}, \{Cond\} \rangle,$$

где $\{Z\}$ – совокупность или структура целей; $\{Str\}$ – совокупность структур (производственная, организационная и т. п.), реализующих цели; $\{Tech\}$ – совокупность технологий (методы, средства, алгоритмы и т. п.), реализующих систему; $\{Cond\}$ – условия существования системы, т. е. факторы, влияющие на ее создание, функционирование и развитие.

Подчеркнем, что уже сам выбор определения понятия «система» является фактически началом моделирования, и системы, попадающие под приведенное определение, считаются сложными. В качестве типичного паттерна (pattern) сложных систем будем использовать химико-технологическое производство [3].

Внешний потенциал информации о химико-технологических процессах очень велик. Поэтому для их изучения создаются разнообразные модели, каждая из которых является упрощенной системой, отражающей отдельные, ограниченные в нужном направлении характеристики рассматриваемого процесса. Построение любой математической модели начинается с формализованного описания объекта моделирования.

Пример. Обозначим все входные параметры изучаемой системы через X , а выходные – через Y . Тогда процесс моделирования сводится к установлению вида зависимости между входными и выходными параметрами системы:

$$Y = F(X, Z, U), \quad (1)$$

где Z – возмущающие воздействия; U – управляющие воздействия; F – оператор, отображающий функциональное пространство входных переменных $\{Z, U\}$ и пространство переменных состояний самой системы $\{X\}$ в пространство значений выходных переменных $\{Y\}$.

Замечание 1. В явной форме оператор F может реализовываться в виде систем дифференциальных, интегральных, интегродифференциальных уравнений, дополненных начальными и граничными условиями, а также соотношениями эмпирического характера.

Замечание 2. Графически зависимость (1) может быть изображена с помощью модели «черный ящик» (рис. 2).

Замечание 3. Конечной целью разработки математических моделей является прогноз поведения изучаемой (создаваемой) системы и выработка рекомендаций по возможным воздействиям на него.

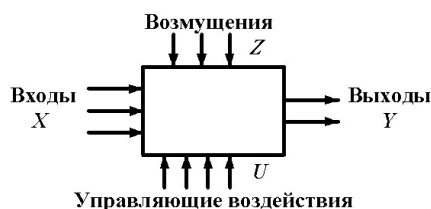


Рис. 2. Модель «черный ящик»

Универсальный подход к математическому описанию сложных систем основан на блочном принципе, называемом также принципом декомпозиции. Согласно этому принципу, после того, как определен набор элементарных процессов, каждый из них исследуется отдельно (по блокам) в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации объекта моделирования. В результате каждому элементарному технологическому оператору ставится в соответствие элементарный функциональный оператор с параметрами, достаточно близкими к истинным значениям.

Следующий этап моделирования заключается в агрегировании элементарных функциональных операторов в общий результирующий функциональный оператор, который и представляет собой математическую модель объекта. Главным моментом агрегирования, очевидно, является правильная взаимная координация отдельных операторов, которую не всегда удается осуществить вследствие трудностей учета связей между отдельными элементарными процессами.

Математическое описание моделируемого объекта обычно в своем составе содержит следующие группы уравнений [3, с. 38–39]:

1. Уравнения баланса масс и энергии, записанные с учетом гидродинамической структуры движения потоков.
2. Уравнения «элементарных» потоков.
3. Теоретические, полуэмпирические или эмпирические соотношения между различными параметрами процесса.
4. Ограничения на параметры процесса, объективно вытекающие из его природы.

В заключение приведем этапы математического моделирования [4, с. 31]:

1. Огрубление (схематизация, идеализация) исходного объекта.
2. Построение математической модели.

3. Ее разрешение (т. е. получение необходимой информации), включая выбор численных методов решения.
4. Построение алгоритма.
5. Написание программы.
6. Оценка модели и анализ результатов.
7. Интерпретация результатов и уточнение модели.

Примечание. Самая тонкая и ответственная часть математического моделирования – это построение модели. Иногда она носит характер настоящего открытия (см., например, уравнения Максвелла). Даже в простейших ситуациях, когда мы применяем интегральное исчисление к решению физических задач (подход «бесконечно малых»), это часто является проблемой.

Литература

1. Великович, Л. Л. Физика и математика в техническом университете: проблемы взаимодействия и применения в процессе преподавания / Л. Л. Великович // Физическое образование: современное состояние и перспективы : материалы Респ. науч.-метод. семинара, посвящ. 65-летию физ.-мат. фак. МГУ им. А. А. Кулешова, Могилев, 16 окт. 2014 г. / Могилев. гос. ун-т. – Могилев, 2014. – С. 9–12.
2. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник : учеб. пособие / под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 848 с.
3. Кафаров, В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии : учеб. для вузов / В. В. Кафаров. – 4-е изд., перераб., доп. – М. : Химия, 1985. – 448 с.
4. Бусенок, Н. Н. Математическое моделирование : учеб. пособие / Н. Н. Бусенок, А. А. Черняк. – Минск : Беларусь, 2014. – 214 с.

УДК 548.232.4

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ДВУМЕРНЫХ ЛИНИЙ РОСТА ДЕНДРИТА В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОМ РАСПЛАВЕ

И. А. Концевой, В. А. Климович

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

Важным аспектом проблемы роста является задача о формировании неоднородной структуры теплового поля на фазовой границе (ФГ). В данной работе рассматривается рост кристалла из однокомпонентного переохлажденного расплава с позиций теории локально-неравновесного теплопереноса. Работа продолжает исследования [1] и имеет цель изучить градиентные свойства теплового поля на линии роста. Рассматриваем ФГ (двумерную плоскую либо осесимметричную), обладающую нестационарной кривизной. Уравнение линии роста постулируем в следующем виде: $f \equiv x + A(t) - [B(y)]^{p(t)} = 0$. Эта априорная зависимость основана на экспериментальных сведениях о нестационарных свойствах скорости и кривизны ФГ. Здесь t – время; в плоском ($\nu = 0$) двухмерном случае x , y – прямоугольные декартовы координаты; в случае осевой симметрии ($\nu = 1$) координата x соответствует оси симметрии; y – радиальная координата; $B = B(y)$ – непрерывная функция; $B(y) \geq 1$, $\dot{B}(y) \equiv dB/dy \geq 0$ при $y \geq 0$, причем $B(y=0) = 1$. При $t = 0$ вершина дендрита находится в начале координат, $x_j(y=0, t=0) = 0$. Закон движения вершины дендрита

($y = 0$): $x_j(t, y = 0) \equiv x_0(t) = 1 - A(t)$; $t \geq 0$. Двигается ФГ влево: $dx_0 / dt = -\dot{A}(t) < 0$.

Работаем с двумерными уравнениями теплопереноса:

$$c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial q_1}{\partial x} + \frac{\partial q_2}{\partial y} + \frac{v}{y} q_2 = 0; \quad q_1 + \gamma \frac{\partial q_1}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}; \quad q_2 + \gamma \frac{\partial q_2}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}?$$

где T – температура; $q(q_1, q_2)$ – вектор удельного теплового потока; λ – коэффициент теплопроводности; c – объемная теплоемкость; γ – время релаксации теплового потока; $w^2 = \frac{\lambda}{(\gamma c)}$ – квадрат скорости распространения тепловых возмущений; $v = 0, 1$. После

перехода к криволинейным координатным осям (касательная, главная нормаль и би-нормаль к поверхности ФГ) применяем алгоритм, изложенный в [1], и получаем нормальные производные на ФГ $\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_j, \left(\frac{\partial q_n}{\partial n}\right)_j, \left(\frac{\partial q_s}{\partial n}\right)_j$. Развернутая запись этих выра-

жений здесь не приводится. Отметим только, что они подсчитываются на основе динамических условий совместности на ФГ кристаллизации, которую мы моделируем поверхностью сильного разрыва теплового поля.

Представлены результаты численного исследования тепловых свойств двумерных линий роста. Анализ выполнен для случаев периодического по времени возмущения скорости и кривизны фазовой границы. Обнаружены существенные количественные различия между режимами колебаний вблизи вершины дендрита и на конечном удалении от нее. Информация, представленная на рис. 1, позволяет судить об интервалах, в которых меняются основные параметры теплового поля на линии роста. Расчеты показали, что характер колебаний не влияет принципиальным образом на свойства данной теплофизической системы. Меняются отдельные фрагменты фазовых портретов, но основные закономерности эволюции линии роста сохраняются.

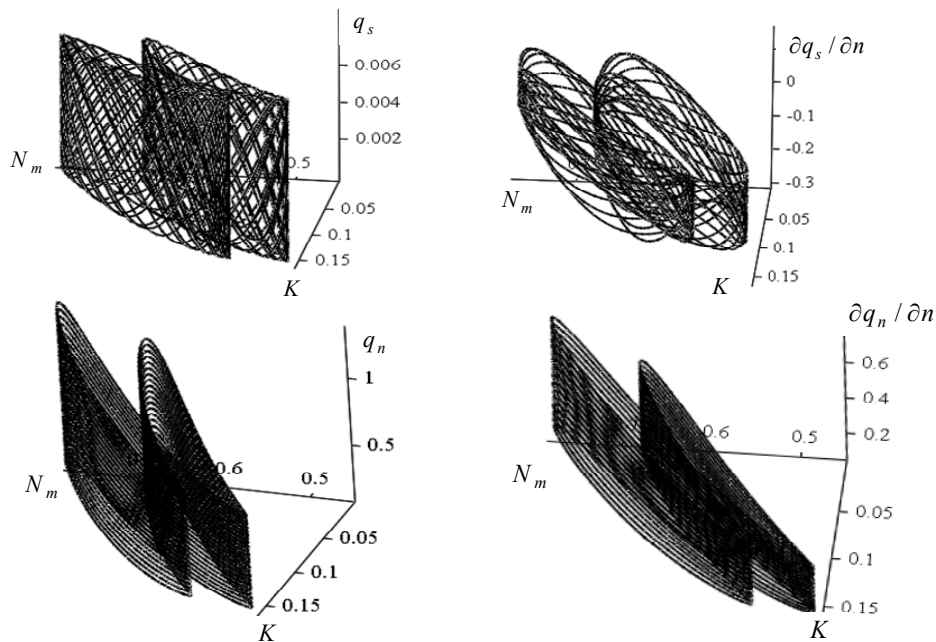


Рис. 1. Тепловые процессы в конечной окрестности вершины дендрита ($y = 0,01$)

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергетические системы, процессы и технологии 2.9». Научный руководитель проекта – профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Шабловский, О. Н. Тепловая градиентная катастрофа и рост двумерного свободного дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский // Прикладная физика. – 2007. – № 3. – С. 29–37.

УДК 539.3

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
НЕРАВНОМЕРНО НАГРЕТОГО КОРОТКОГО ЦИЛИНДРА
В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОГО РАСПУХАНИЯ**

А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич

*Учреждение образования «Брестский государственный
технический университет», Республика Беларусь*

Рассматривается деформированный короткий сплошной круговой цилиндр из аустенитной нержавеющей стали ОХ16Н15МЗБ (316, 316L по классификации AISI), нагруженный внешним радиальным и осевым давлением и находящийся в условиях интенсивного облучения потоком быстрых нейтронов с кинетическими энергиями $\bar{E} > 0,1$ МэВ (рис. 1).

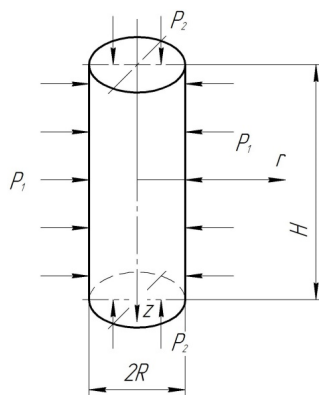


Рис. 1. Расчетная схема

Зависимость температуры T и радиационного распухания S от координат r, z приведена на рис. 2.

Дифференциальные уравнения равновесия имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} = 0; \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ – радиальные, тангенциальные и осевые напряжения; r – текущий радиус; τ_{rz} – касательные напряжения.

Граничные условия:

при $r = 0$: $u_r = 0$; $\frac{\partial u_z}{\partial r} = 0$; при $r = R$: $\sigma_r = -P_1 = -10\text{МПа}$; $\tau_{rz} = 0$,

при $z = 0$: $u_z = 0$; $\tau_{rz} = 0$; при $z = H/2$: $\sigma_z = -P_2 = -20\text{МПа}$; $\tau_{rz} = 0$,

где u_r, u_z – радиальное и осевое перемещение; P_1, P_2 – внешнее давление на боковой и торцевой поверхности, соответственно.

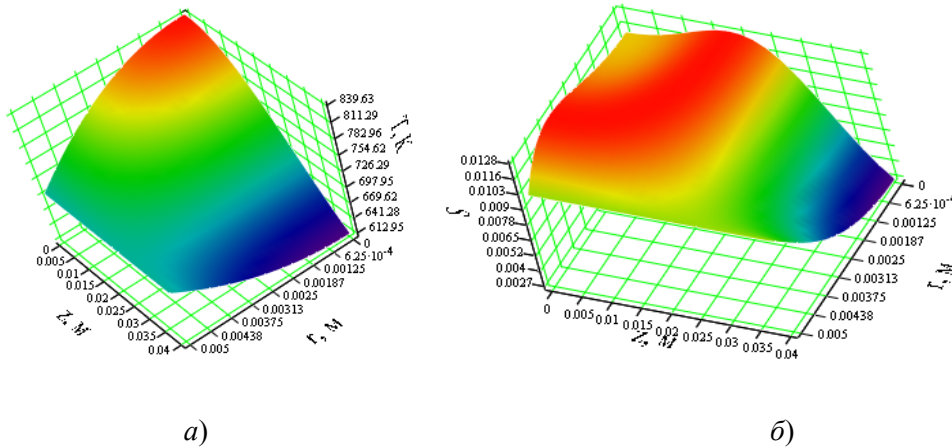


Рис. 2. Поверхности температуры (а) и радиационного распухания (б) в момент времени 1000 ч, плотность потока быстрых нейтронов $\varphi = 2,81 \cdot 10^{19} \frac{\text{нейтр}}{\text{см}^2 \cdot \text{ч}}$

Математически задача термоупругости в указанной постановке описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных [1]:

$$\begin{cases} \lambda \left(\frac{(1-\nu)}{\nu} \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} - \frac{u_r}{r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) + \frac{\lambda}{2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial r \partial z} + \mu \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \frac{E}{1-2\nu} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{3} \frac{\partial S}{\partial r} \right) = 0; \\ \lambda \left(\frac{(1-\nu)}{\nu} \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z \partial r} + \frac{1}{2r} \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} \right) - \frac{E}{(1-2\nu)} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{1}{3} \frac{\partial S}{\partial z} \right) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $\mu = \frac{E}{2 \cdot (1+\nu)}$; $\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ – параметры Ламе.

Решение системы уравнений (2) проводится численно с использованием метода конечных разностей. Программная реализация разработанного алгоритма выполняется на базе системы компьютерной алгебры MathCAD 15. Получена система конечно-разностных уравнений для внутренних точек области и конечно-разностные соотношения для граничных условий [2].

По результатам численного расчета определены зависимости компонент тензоров напряжений и деформаций от координат с возможностью варьирования геометрическими параметрами тела, характеристиками материала, размерами конечно-разностной сетки и условиями нагружения. Исследована зависимость напряжений и деформаций от времени облучения и свойств материала. Кроме того, проведено исследование влияния температуры и интенсивности радиационного воздействия на напряжения, деформации и перемещения точек цилиндра.

Типичная зависимость радиальных σ_r и тангенциальных σ_θ напряжений от координаты z в различных сечениях расчетной схемы для 1000 ч облучения дана на рис. 3.

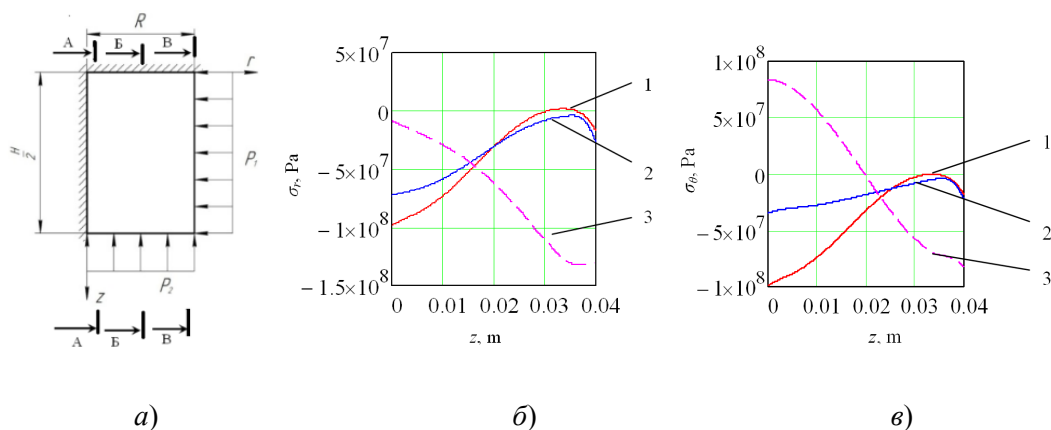


Рис. 3. Типичная зависимость радиальных σ_r (б) и тангенциальных σ_θ (в) напряжений от координаты z в различных сечениях расчетной схемы (а) для 1000 ч облучения: 1 – сечение А–А; 2 – сечение Б–Б; 3 – сечение В–В

Достоверность разработанной модели ввиду отсутствия аналитических решений такого рода задач проверялась при раздельном силовом и температурном нагружении. Сравнение результатов с существующими аналитическими и численными решениями, например, [3], подтвердило точность конечно-разностных схем. Кроме того, проведена проверка согласованности конечно-разностных схем. Устойчивость конечно-разностной задачи проверялась методом фон Неймана. Для оценки сходимости разностных схем применялась теорема Лакса.

Л и т е р а т у р а

1. Хвисевич, В. М. Моделирование напряженно-деформированного состояния цилиндрических тел конечной длины при нагреве и нейтронном облучении / В. М. Хвисевич, А. И. Веремейчик, В. В. Гарбачевский // Теорет. и прикладная механика. – 2017. – Вып. 32. – С. 65–71.
2. Хвисевич, В. М. Решение некоторых термоупругих задач для цилиндрических тел с учетом радиационного облучения / В. М. Хвисевич, А. И. Веремейчик // Актуальные проблемы прочности. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – Т. 1. – С. 385–405.
3. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М. : Наука, 1975. – 576 с.

УДК 539.375.6

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ «ПАЛЕЦ–ДИСК»

Ю. Е. Кирпиченко, С. А. Карчевский

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

Основными задачам испытаний на трение и изнашивание являются: оценка триботехнических характеристик материалов и смазок; подбор оптимальных их сочетаний для конкретных приложений; оценка триботехнических характеристик деталей, узлов и машин в целом. Триботехнические материалы представляют собою

важный класс материалов, предназначенных для работы в условиях трения и изнашивания. Их можно разделить на следующие группы: металлы и сплавы, полимеры, керамика и композиционные материалы. Исследование и разработка эффективных триботехнических материалов являются одним из основных путей решения технических проблем, связанных со снижением потерь на трение и износ в машинах.

Полимеры являются высокомолекулярными органическими соединениями и применяются в трибологии благодаря некоторым свойствам, которыми не обладают металлы и керамика. Среди этих свойств – инертность ко многим реактивам, относительно низкая склонность к схватыванию, смазывающие свойства и низкий модуль упругости. Интенсивность изнашивания полимеров при сухом трении по металлам относительно мала, из них обычно легко изготовить подшипники, зубчатые колеса, уплотнения и покрытия. Кроме того, возможно создание на основе полимеров композитов с резервными возможностями для предотвращения катастрофического разрушения узла трения при резких изменениях эксплуатационных параметров или окружающей среды [1].

Полимерные композиты, являясь перспективным направлением развития триботехнического материаловедения, требуют постоянных усовершенствований как самого материала, так и лабораторного оборудования, методик проведения испытаний и машин трения. Важным условием решения поставленных задач является автоматизация трибологических испытаний материалов на основе полимеров.

Целью настоящей работы являлась разработка методики и установки для автоматизированных испытаний полимерных материалов. Наиболее перспективной для автоматизации представляется схема испытаний «палец–диск», реализованная на ранее разработанном базовом варианте машине трения ПД-2 [2]. Принцип действия данной машины заключается в истирании пары трения, состоящей из неподвижного штифта или пальца, прижимаемого к вращающемуся диску. Критериями работоспособности трибосопряжений, содержащих полимерные компоненты, является предельный – $[PV]$ и допустимый – $PV25$ т. е. PV -фактор с нормируемой интенсивностью изнашивания.

Для выявления указанных характеристик в структурную схему механизма нагружения, установленного на салазках с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости для регулировки радиуса трения штифта, добавлен программно регулируемый привод. Таким образом, при одной установке образцов возможно получение несколько значений PV -фактора, что значительно повышает степень достоверности получаемых данных.

При доработке базового варианта машины были внесены следующие изменения в программу обработки сигналов, поступающих от систем измерения параметров трения и фрикционных характеристик. Основные функциональные возможности программы: ввод измеряемых трибологических параметров в компьютер, наглядное отображение динамического изменения получаемых параметров в виде графиков, сохранение полученных зависимостей были дополнены возможностью автоматического перевода держателя штифта в новое положение и повторение цикла испытаний на новой дорожке трения.

Усовершенствование машины трения ПД-2 позволило реализовать адаптивный принцип работы измерительных систем машины, при котором по достижении PV -фактором предельных значений происходит программный перевод испытуемого образца на новую дорожку трения с повторением цикла испытаний. Предварительная оценка тестовых испытаний показала увеличение достоверности и воспроизводимости получаемых данных.

Литература

1. Мышкин, Н. К. Трение, смазка, износ / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – М. : Физматлит, 2007.
2. Кожедуб, К. А. Перспективы автоматизации методов трибологических испытаний полимерных композитов / К. А. Кожедуб // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетике и управления : материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель 26–27 апр. 2018 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, 2018. – С. 52–54.

УДК 621.821

**НОВЫЙ ПОДХОД В ДИАГНОСТИКЕ
ГРАНИЧНОГО СМАЗЫВАНИЯ****Ю. Е. Кирпиченко***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Традиционная диагностика состояния узлов трения машин и механизмов, работающих в условиях смазки, успешно осуществляется на основе анализа частиц износа и оценки свойств смазочной среды [1]. Параметры частиц износа отражают природу и степень износа трущихся поверхностей. Информация по морфологии и составу частиц износа требуется для того, чтобы определить тип износа изнашиваемой детали. В общем случае концентрация частиц износа в пробе масла и распределение их по размерам характеризуют скорость изнашивания и степень износа.

Типичная зависимость потери массы изнашиваемого тела от времени эксплуатации для большинства узлов трения имеет вид кривой, наклон которой в каждой точке характеризует интенсивность изнашивания. Первая стадия представляет начальный период изнашивания. Она характеризуется нестационарным состоянием трибосистемы и большой интенсивностью изнашивания, которая постепенно понижается, а также высокой скоростью образования частиц износа. Эта стадия называется приработкой трибосистемы, в течение которой трущиеся поверхности приспособляются друг к другу, в частности, устанавливается так называемая равновесная шероховатость. Нормальному установившемуся режиму работы механизма соответствует равновесная концентрация мелких частиц. С течением времени износ постепенно возрастает, приводя к повреждению поверхности, что в конечном итоге приводит к значительному нарушению условий работы, интенсивность износа резко возрастает и наступает катастрофическое изнашивание. При переходе от установившегося режима изнашивания к катастрофическому увеличивается концентрация частиц износа и распределение их по размерам смещается в крупноразмерную область. Основным недостатком диагностики изнашивания по анализу частиц износа является невозможность осуществления процесса автоматизации мониторинга трибосопряжений.

Кроме анализа частиц износа существуют альтернативные методики диагностики состояния узлов трения, в частности, метод электрофизического зондирования. Основная задача этого метода – исследование границы раздела поверхностей трения с целью прогнозирования ее физико-механических свойств, приводящих к определенным триботехническим характеристикам подвижных сопряжений [2], [3]. Технические возможности электрофизического зондирования [4] позволяют достаточно легко компьютеризировать, а значит автоматизировать процесс мониторинга узлов трения.

Целью настоящей работы являлось установление корреляционных связей электрофизических параметров зоны трения и структуры частиц износа для реализации

автоматического мониторинга на основе измерения параметров контактного электрического сопротивления.

В работе представлены результаты разработки установки по электрофизическому зондированию, оснащенной камерой (рис. 1), позволяющей одновременно производить анализ частиц износа и измерение контактного электросопротивления зоны фрикционного контакта (рис. 2).

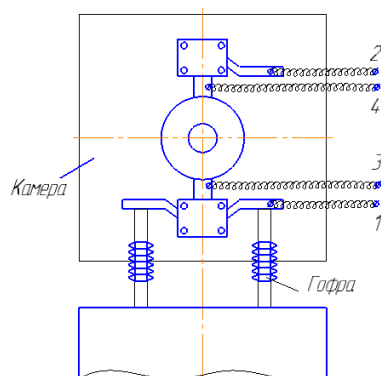


Рис. 1. Камера для диагностики трибосопряжений

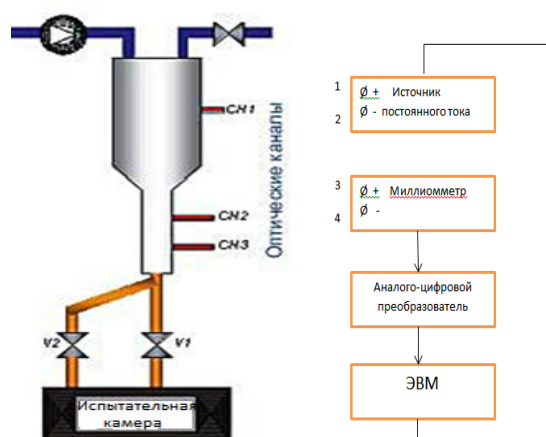


Рис. 2. Блок-схема диагностики трибосопряжений, состоящей из опико-магнитного детектора (ОМД) и измерителя контактного электрического сопротивления (ИКС)

На основе экспериментальных данных, полученных при исследовании электрического сопротивления трибологического контакта в условиях эволюции видов изнашивания, была разработана блок-схема автоматизированной системы мониторинга трибологической эволюции процесса изнашивания. Реализация работы компьютерного варианта макета системы мониторинга позволил с большой степенью вероятности утверждать, что практическая реализация автоматизированной системы мониторинга решит задачу обеспечения своевременного ремонта и технического обслуживания сложного оборудования при минимальных затратах.

Литература

1. Маркова, Л. В. Трибодиагностика машин / Л. В. Маркова, Н. К. Мышкин. – Минск : Белорус. наука, 2005.
2. Мышкин, Н. К. Механика и трибофизика электрических контактов / Н. К. Мышкин, М. Браунович, В. В. Кончиц // Трение и износ. – 2015. – Т. 36, № 6. – С. 596–610.
3. Особенности формирования и трибо-физические свойства смазочных слоев при контакте с нагретой поверхностью / В. В. Кончиц [и др.] // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 2. – С. 174–182.
4. Измеритель контактного сопротивления / В. В. Кончиц [и др.] // Завод. лаб. – 1997. – № 8. – С. 38–41.

УДК 531.8

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ
НА ПРИМЕРЕ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА**

А. В. Локтионов

*Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет», Республика Беларусь*

При расчете условия равновесия механизмов используются геометрический и аналитический методы [1], [2]. При геометрическом методе расчета элементарные работы активных сил на возможном перемещении можно подсчитать по формуле

$$\delta A_k = m_0 (\bar{F}_k) \delta \varphi_k. \tag{1}$$

Оценку методов расчета условия равновесия рассмотрим на примере кулисного механизма [1]. В кулисном механизме (задача 46.10) при качении рычага $OC = R$ вокруг проходящей через точку O оси ползун A , перемещаясь вдоль OC , приводит в движение стержень AB , движущийся в вертикальных направляющих K ; $OK = l$. Сила P направлена вдоль стержня AB . Угол отклонения рычага от горизонтали равен φ . Какую силу Q надо приложить в точке C перпендикулярно рычагу OC , чтобы механизм находился в равновесии?

Если сообщить возможное перемещение в виде элементарного поворота рычага OC на угол $\delta\varphi$, тогда $\frac{\delta S_c}{\delta S_A} = \frac{OC}{OA} = \frac{R}{l/\cos\varphi} = \frac{R \cos\varphi}{l}$; $\delta S_A = \delta h \cos\varphi$. Следовательно,

$$\delta S_c = \frac{R \cos\varphi}{l} \delta S_A = \frac{R \cos\varphi}{l} \delta h \cos\varphi = \frac{R^2 \cos^2\varphi}{l} \delta h. \text{ Составляя уравнение } \sum \delta A_k = 0, \text{ полу-}$$

$$\text{чим: } P \delta h - Q \delta S_c = 0, \text{ или } P \delta h - Q \frac{R \cos^2\varphi}{l} \delta h = 0, \text{ окончательно получим}$$

$$Q = \frac{Pl}{R \cos^2\varphi}.$$

Составляя уравнение возможных работ в аналитической форме, получим:

$$P \frac{l}{\cos^2\varphi} \delta\varphi - Q R \sin^2\varphi \delta\varphi - Q R \cos^2\varphi \delta\varphi = 0.$$

Откуда следует, что

$$P \frac{l}{\cos^2\varphi} \delta\varphi - Q R \delta\varphi = 0. \tag{2}$$

Окончательно получим: $Q = \frac{Pl}{R \cos^2 \varphi}$.

Из расчета следует, что для рычажного механизма [1] расчет условия равновесия геометрическим методом значительно проще, чем использование аналитического метода расчета. При расчете условия равновесия рычажного механизма как геометрическим, так и аналитическим методом следует элементарную работу силы Q подсчитать по формуле (1). При этом $P_Y = P$, $\delta Y_A = \left(\frac{l}{\cos^2 \varphi} \right) \delta \varphi$. Тогда уравнение возможных работ в аналитической форме можно записать в виде $P \delta Y_A - QR \delta \varphi = 0$. С учетом δY_A получим равенство (2), из которого и определяется сила Q .

Следовательно, при расчете условия равновесия кулисного механизма следует использовать аналитический метод расчета и формулу (1), рекомендованную для решения задач геометрическим методом. Для системы с несколькими степенями свободы условия равновесия составляются для каждого из независимых возможных перемещений системы.

Литература

1. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М. : Высш. шк., 2003. – 416 с.
2. Мещерский, И. В. Сборник задач по теоретической механике : учеб. пособие / И. В. Мещерский. – М. : Наука, 1981. – 480 с.

УДК 531.8

РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

А. В. Локтионов

*Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет», Республика Беларусь*

При кинематическом анализе исполнительных механизмов используются векторный, матричный и винтовой методы [1], [2]. Рассмотрим расчет кинематических параметров трехзвенного исполнительного механизма при координатном способе задания движения, представляющего собой незамкнутую кинематическую цепь. Поворотная платформа механизма может поворачиваться на угол φ . Звено со схватом (точка М) поворачивается на угол θ и выдвигается на расстояние r . Найдем скорость и ускорение центра схвата:

$$x = r \sin \theta \cos \varphi; \quad y = r \sin \theta \sin \varphi; \quad z = r \cos \theta,$$

Проекции скорости центра схвата на оси X, Y, Z , имеют вид:

$$V_x = \dot{x} = \dot{r} \sin \theta \cos \varphi + r \dot{\theta} \cos \theta \cos \varphi - r \dot{\varphi} \sin \theta \sin \varphi;$$

$$V_y = \dot{y} = \dot{r} \sin \theta \sin \varphi + r \dot{\theta} \cos \theta \sin \varphi + r \dot{\varphi} \sin \theta \cos \varphi;$$

$$V_z = \dot{z} = \dot{r} \cos \theta - r \dot{\theta} \sin \theta.$$

Модуль скорости центра схвата: $V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 + r^2 \sin^2 \theta \cdot \dot{\varphi}^2}$.

Проекция ускорения центра схвата на декартовы оси координат вычисляются как производные по времени от проекций скорости:

$$a_x = \ddot{x} = \ddot{r} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi + 2\dot{r} \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi - 2\dot{r} \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi - r \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \theta \cos \varphi + r \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi - 2r \cdot \dot{\theta} \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi - r \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi - r \cdot \ddot{\varphi} \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi;$$

$$a_y = \ddot{y} = \ddot{r} \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi + 2\dot{r} \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi + 2\dot{r} \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi - r \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi + r \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi + 2r \cdot \dot{\theta} \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi - r \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi - r \cdot \ddot{\varphi} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi;$$

$$a_z = \ddot{z} = \ddot{r} \cdot \cos \theta - 2\dot{r} \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta - r \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \theta - r \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin \theta.$$

Модуль ускорения центра схвата:

$$a = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2} = \left[\left(\ddot{r} - r \cdot \dot{\theta}^2 - r^2 \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin^2 \theta \right)^2 + \left(r \cdot \ddot{\theta} + 2\dot{r} \cdot \dot{\theta} - r \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \right)^2 + \left(r \cdot \ddot{\varphi} \cdot \sin \theta + 2\dot{r} \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \theta + 2r \cdot \dot{\theta} \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos \theta \right)^2 \right]^{1/2}.$$

Следовательно, для исполнительных механизмов с тремя степенями подвижности можно использовать координатный способ задания центра-схвата исполнительного механизма.

Литература

1. Воробьев, Е. И. Механика промышленных роботов : учеб. пособие для вузов : в 3 кн. / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева ; под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. – М. : Высш. шк., 1988. – Кн. 1: Кинематика и динамика. – 304 с.
2. Локтионов, А. В. Расчет кинематических параметров пространственных исполнительных механизмов / А. В. Локтионов // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2014. – Вып. 8. – С. 106–120.

СЕКЦИЯ 8. ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ, ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 338.45:621(476)

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. К. Ландова

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

Машиностроение является в настоящее время одной из ведущих отраслей промышленности Беларуси, занимая главные места по доле валовой продукции, доле производственных средств, экспорту и занятости населения. Ведущими секторами машиностроения являются автомобильная промышленность, приборостроение, электротехническая промышленность, радиоэлектроника, тракторное и сельскохозяйственное машиностроение. Структура машиностроительного комплекса Беларуси на протяжении многих десятилетий складывалась без должного учета потребностей белорусского региона.

На машиностроение в 2016 г. приходилось 24,5 % продукции, произведенной белорусской промышленностью, а ее экспорт составил 22 % от всего экспорта товаров Республики Беларусь. В 2016 г. в отрасли было занято 40,9 % от численности промышленно-производственного персонала, занятого в промышленности республики. Однако в целом на сегодняшний день отечественное машиностроение имеет более низкий экспортный потенциал, чем машиностроение развитых стран. Так, удельный вес машино-технической продукции составляет в экспорте США – 48 %; Германии – 50 %; Японии – 70 %. Более низкий экспортный потенциал машиностроения Беларуси обуславливается рядом причин, среди которых можно выделить следующие. Рассмотрим физический и моральный износ основных средств машиностроительных предприятий. На начало 2017 г. износ промышленных средств составил 57,3 % что выше допустимого значения (50 %). Возрастная структура парка металлорежущего оборудования в Беларуси в 2016 г. выглядела следующим образом: оборудование с возрастом до 10 лет – 7,3 %; от 10–15 лет – 13,7 %; от 15–20 лет – 22,2 %; свыше 20 лет – 57,8 %. Доля кузнечнопрессового оборудования с возрастом свыше 20 лет составляет 54 %. Таким образом, физически и морально устаревшее технологическое оборудование, низкий уровень технологий и высокие затраты не позволяют в полной мере в настоящее время большинству машиностроительных предприятий Беларуси решать задачу повышения технико-экономического уровня выпускаемой продукции и ее конкурентоспособности на внешних рынках.

Результаты работы предприятий напрямую связаны с инновациями, созданием новой продукции, внедрением новых технологий, новых систем и методов управления предприятиями. В последние годы в машиностроительной отрасли наметилась тенденция повышения инновационной активности. Так, согласно статистическим данным, удельный вес предприятий, занимающихся инновационной деятельностью, в общем объеме обследованных предприятий вырос с 24,8 % в 2006 г. до 38,1 %

в 2016 г. Доля отгруженной инновационной продукции машиностроительного комплекса в общем объеме отгруженной продукции в Беларуси также имеет неустойчивую тенденцию к росту. Если в 2006 г. она составила 15,9 %, то в 2016 г. – уже 35,3 %. В последние годы постоянно увеличиваются затраты на технологические инновации в машиностроительной отрасли. В 2016 г. в фактически действовавших ценах по сравнению с 2006 г. затраты на технологические инновации возросли в 6,2 раза. Их удельный вес в общем объеме продукции машиностроения и металлообработки (наукоемкость продукции) увеличился с 2,9 % в 2006 г. до 3,2 % в 2016 г. Однако, несмотря на эти положительные тенденции, пока нельзя «говорить» об адекватном ресурсном обеспечении инновационной деятельности. Так, например, затраты на инновации в отрасли от общего объема инвестиций в основной капитал в экономике 2006 г. составляли 2,3 %, а в 2016 г. – всего 1,4 %.

Такая проблема как недостаток квалифицированных руководящих, инженерно-технических и производственных кадров существует на всех уровнях деятельности отечественных предприятий машиностроительного комплекса. Особенно «остро» стоит проблема дефицита производственного персонала и инженерно-технических работников. Низкие ставки оплаты квалифицированного труда вызывают отток наиболее мобильных и конкурентоспособных работников за рубеж или в другие отрасли и снижают мотивацию и производительность труда. Кроме того, ощущается недостаток притока молодых производственных и инженерно-технических кадров, что приводит их старению. В то же время переход на инновационный путь развития требует от руководителей четкого видения и понимания будущего предприятия, разработки и успешной реализации стратегии предприятия, идентификации новых возможностей и извлечения из них экономической выгоды. Все это актуализирует потребность отрасли в опытных руководителях и специалистах, знающих современные системы и методы стратегического управления предприятием. В результате сегодня предприятия зачастую не могут создать у себя эффективный механизм управления, построенный на разработке стандартов и процедур, в которых было бы четко распределено, кто, за что и в какой момент времени отвечает. Без такого механизма предприятие вряд ли сможет эффективно планировать свою деятельность на стратегическую перспективу и контролировать реализацию разработанных планов и программ. Состояние машиностроительного комплекса в 2006–2016 гг. определялось влиянием как исторически сложившихся особенностей развития промышленного сектора Беларуси, так и макроэкономической ситуацией в республике и Российской Федерации – крупнейшем потребителе продукции белорусского машиностроения.

Органами государственного управления в рамках промышленной политики была разработана Государственная Программа развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь на 2017–2020 гг. в целях реализации Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 гг., где основными ее приоритетами являются:

- рост и диверсификация экспорта товаров;
- обеспечение сбалансированности внешней торговли;
- привлечение инвестиций в целях увеличения производительности труда и формирования центров опережающего развития.

Перспективы развития машиностроительного комплекса Беларуси в среднесрочном периоде будут определяться состоянием макроэкономической среды в республике, динамикой инвестиций в модернизацию производственных мощностей и характером соответствия структуры производства требованиям внешних рынков, в

первую очередь, российского. Реализация этих мер должна способствовать повышению экономической эффективности предприятий машиностроительного комплекса.

Л и т е р а т у р а

1. Государственная Программа развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь на 2017–2020 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 07.08.2017 г. № 588.
2. Промышленность Республики Беларусь. – Минск : Нац. стат. ком. Республики Беларусь. – 2011. – 212 с.
3. Промышленный комплекс Республики Беларусь / М-во пром-сти Респ. Беларусь. – 2008.
4. Шимов, В. Н. Национальная экономика Беларуси / В. Н. Шимов. – Минск : БГЭУ, 2009. – 751 с.

УДК 338.486(043)

ВИРУСНЫЙ МАРКЕТИНГ В ТУРИСТСКОЙ ИНДУСТРИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е. Н. Карчевская

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

Вирусный маркетинг – способ воздействия на целевую аудиторию, обеспечивающий продвижение товаров и услуг за счет и силами самой целевой аудитории, участвующей в распространении информации о предмете маркетинга. Интернет-ресурсы дают возможность своим пользователям быстро обмениваться информацией, а интернет-сообщества способствуют обмену мнениями и комментариями. Все это создает благоприятные условия для распространения вирусного маркетинга. Грамотный вирусный продукт дает возможность предприятию эффективно и на протяжении долгого времени продвигать на рынок свои товары и услуги с малыми финансовыми затратами.

Объектом исследования выступают туристские предприятия Гомельской области как структурный элемент туристско-рекреационного комплекса Гомельской области.

В рамках настоящего исследования была изучена степень использования участниками туристского рынка Гомельского региона приемов вирусного маркетинга в развитии бизнеса.

Фактологическую основу исследования составили материалы, представленные на белорусских порталах Holiday.by и Relax.by [1], [2].

Анализ используемых инструментов вирусного маркетинга в социальной сети проводился экспертным методом по следующим компонентам:

- наличие и заполняемость структурных элементов на странице турфирмы в социальной сети (подписчики, фотоальбомы, видеoinформация, в том числе видеореклама, ссылки на группы, обсуждения, контакты, публикации, мероприятия, отзывы, твиты, плейлисты и т. д.);
- качество визуализации социальных сетей;
- анализ текстовой информации в социальных сетях (разнообразие форм, запоминаемость, актуальность, достоверность информации, пригодность для широкого круга читателей, привлекательность информации (отметки «понравилось» и «поделались»), популярность информации);

– анализ мультимедийной информации сети (качество информации, полезность, актуальность, привлекательность сюжета, юмористическое наполнение, использование информации в форме тегирования (расстановка тегов, отметок, прикрепление описания различных объектов);

– онлайн-диалог с пользователями (использование ресурсов игровых сервисов, игровые квесты, опции «пригласить друга»);

– использование ссылочного ранжирования (pagerank) (наличие ссылок на посты (сообщения), наличие блогов или статей с новостями, возможность ссылки друг на друга, количество, разнообразие ссылочных данных);

– возможность интеграции данных, поступающих с датчиков и других социальных сетей;

– динамика развития сети (смена актуальной информации, положительная динамика подписчиков и прекращение взаимодействия, появление новых ссылок и страниц, положительная динамика посещений).

Оценка проводилась по 5-балльной психометрической шкале: от 1 (полностью не удовлетворен ресурсом) до 5 (максимально удовлетворен) по каждому компоненту и по каждой используемой турфирмой социальной сети. Затем выставлялась суммарная оценка одной сети турфирмы (например, оценка фирмы КимТур в сети Facebook), после чего находилась средняя оценка использования приемов вирусного маркетинга турфирмы во всех социальных сетях.

Проведенное исследование показало, что основными проблемами использования вирусного маркетинга для турфирм являются:

– неумение грамотно использовать возможности вирусного маркетинга в развитии бизнеса;

– размещение неактуальной информации;

– отсутствие мониторинга эффективности работы в социальных сетях;

– неготовность компании выделять средства на продвижение бренда в социальных сетях.

Наиболее эффективными способами эффективного использования инструментов вирусного маркетинга в социальных сетях для туристского бизнеса могут быть:

– использование таргетированной рекламы, направленной на конкретных пользователей;

– использование рекламы в приложениях, например, в играх;

– активизация целевой аудитории с помощью акций, скидок, конкурсов;

– использование блоггеров и активных пользователей, рассказывающих о компании;

– использование в качестве вирусного текста статьи провокационного характера, прочитав которую эмоциональный человек захочет поделиться с другом прочитанным;

– использование сенсационного материала, подача которого должна вызывать шок;

– акцент на запоминающихся моментах в видео;

– ставка на юмор;

– предложение на собственном ресурсе некоторой услуги «бесплатно», работающей по закону Вильсона (чем больше отдаете, тем больше продаете);

– подача информации из источников, которым доверяет пользователь;

– использование громких сочетаний (например, «срочно и важно»), которые привлекают внимание;

– постоянный мониторинг эмоциональных откликов на распространенную вирусную информацию.

Таким образом, социальные сети могут использоваться в разных целях и разными способами, но в любом случае являются эффективным средством продвижения услуги туристского предприятия на рынок. Перспективным инструментом работы в социальных сетях является вирусный маркетинг. Бесспорное преимущество вирусного маркетинга заключается в небольшом количестве затраченных предпринимателем для продвижения продукции или услуг денег. Однако вирусный маркетинг имеет и недостатки: недостаточный контроль над ситуацией, высокая вероятность искажения информации. Тем не менее, грамотное использование вирусного маркетинга может быть одним из ключевых факторов успеха туристского предприятия.

Л и т е р а т у р а

1. Туристический портал в Беларуси Holiday.by, все об отдыхе. – Режим доступа: <http://www.holiday.by/>. – Дата доступа: 25.05.2018.
2. Информационный портал Relax.by. – Режим доступа: <http://www.relax.by/>. – Дата доступа: 25.05.2018.

УДК 001.895

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Я. В. Емельянченко

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

Сегодня активизация инновационной деятельности хозяйствующих субъектов является невозможной без повышения уровня их инновационной восприимчивости.

Под инновационной восприимчивостью будем понимать способность организации включать в свою структуру и деятельность (т. е. воспринимать) изменения, вызванные инновационным процессом; своевременно и эффективно создавать организационно-экономические механизмы, нацеленные на сокращение жизненного цикла инноваций и их коммерциализацию; а также формировать стратегию обеспечения конкурентоспособности на основе нововведений.

В настоящее время для оценки инновационного развития организаций используются данные форм статистической отчетности 1-нт (инновация) «Отчет об инновационной деятельности организации» и 1-нт (наука) «Отчет о выполнении научных исследований и разработок». Состав же показателей инновационной восприимчивости, по мнению большинства исследователей, должен содержать два важнейших аспекта: масштаб и интенсивность инновационной деятельности.

Учитывая возможности белорусской статистики и возможность использования ограниченного перечня индикаторов, включим в оценку следующие показатели:

1) масштаб инновационной деятельности (структурные показатели): удельный вес инновационно-активных организаций; удельный вес отгруженной инновационной продукции;

2) интенсивность инновационной деятельности (показатели соотношения): отношение внутренних затрат на НИР к инвестициям в основной капитал; отношение затрат на технологические инновации к инвестициям в основной капитал.

Гомельская область была выбрана в качестве объекта исследования неслучайно. Это крупнейшая по территории область Беларуси, которая располагает большим промышленным потенциалом, является одним из высокоразвитых индустриальных регионов и тем самым вносит значительный вклад в инновационное развитие всей страны.

Итак, начнем анализ с оценки масштаба инновационной деятельности организаций как Гомельской области, так и всей Республики Беларусь за 2013–2017 гг. (табл. 1).

Таблица 1

**Показатели масштаба инновационной деятельности организаций
Гомельской области и Республики Беларусь за 2013–2017 гг.**

Показатель	Период (годы)				
	2013	2014	2015	2016	2017
<i>Удельный вес инновационно-активных организаций промышленности в общем числе обследованных организаций промышленности, %</i>					
Гомельская область	18,5	14,4	12,7	15,4	15,2
Республика Беларусь	21,7	20,9	19,6	20,4	21,0
<i>Удельный вес отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объеме отгруженной продукции (работ услуг), %</i>					
Гомельская область	21,2	15,6	11,9	25,9	33,7
Республика Беларусь	17,8	13,9	13,1	16,3	17,4

Примечание. Собственная разработка на основе [1].

Как видно из табл. 1, в 2013–2017 гг., как в Гомельской области, так и по всей стране наблюдается негативная тенденция сокращения масштабов инновационной деятельности. Удельный вес инновационно-активных организаций промышленности в общем их числе по Гомельской области сократился за пять лет на 3,3 п. п. Снижение этого показателя по всей Республике Беларусь за аналогичный период не столь значительно, всего на 0,7 п. п., и это, на первый взгляд, указывает на недостатки в проведении масштабной инновационной политики в стране. Однако обратимся ко второму показателю из табл. 1. Несмотря на сокращение доли инновационно-активных организаций в Гомельской области, удельный вес отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объеме отгруженной продукции (работ услуг) за исследуемый период увеличился на 12,5 п. п., что, как нельзя лучше, «говорит» о наращивании масштабов инновационной деятельности в регионе и повышении инновационной восприимчивости организаций Гомельской области. К сожалению, аналогичный показатель по всей Республике Беларусь, начиная с 2013 г., постепенно уменьшался и к 2017 г. составил 17,4 % (сокращение составило 0,4 п. п.).

Далее перейдем к оценке показателей интенсивности инновационной деятельности организаций Гомельской области и Республики Беларусь за 2013–2017 гг. (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели интенсивности инновационной деятельности организаций
Гомельской области и Республики Беларусь за 2013–2017 гг.**

Показатель	Период (годы)				
	2013	2014	2015	2016	2017
<i>Отношение внутренних затрат на НИР к инвестициям в основной капитал, %</i>					
Гомельская область	1,5	0,9	1,1	1,2	2,8
Республика Беларусь	2,1	1,8	2,2	2,5	2,9

Показатель	Период (годы)				
	2013	2014	2015	2016	2017
<i>Отношение затрат на технологические инновации организаций промышленности к инвестициям в основной капитал, %</i>					
Гомельская область	6,7	10,4	10,7	10,9	21,8
Республика Беларусь	4,8	4,6	5,1	4,1	5,8

Примечание. Собственная разработка на основе [1].

Как видим из табл. 2, показатели соотношения внутренних затрат на НИР и затрат на технологические инновации организаций промышленности к инвестициям в основной капитал отражают положительные сдвиги в инновационной деятельности и восприимчивости организаций. Все большее количество средств затрачивается на включение в структуру и деятельность организаций изменений, вызванных инновационным процессом. При этом показатель соотношения затрат на технологические инновации организаций промышленности к инвестициям в основной капитал по Гомельской области за 2013–2017 гг. увеличился в 3 раза, что подчеркивает высокий инновационный потенциал данного региона. Именно здесь можно и нужно наращивать масштабы инновационной деятельности и повышать инновационную восприимчивость организаций за счет как внутренних резервов, так и с привлечением внешних сил.

Подводя итог, отметим, что Гомельская область в своем инновационном развитии выделяется среди других областей страны. Несмотря на сокращение доли инновационно-активных организаций в их общем числе, в регионе наблюдается наращивание объемов отгрузки инновационной продукции (работ, услуг) и увеличение внутренних затрат на научные исследования и разработки. Все это свидетельствует о достаточной инновационной восприимчивости организаций области и необходимости продолжения действий по активизации инновационной деятельности как в области, так и по всей Республике Беларусь.

Литература

1. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 22.08.2018.

УДК 630.6:630.181.29:581.5(476.2)

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСХОЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

И. В. Ермонина

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

Вопросы устойчивого развития государственных лесохозяйственных учреждений в настоящее время актуальны и для лесхозов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения. Учитывая необходимость повышения эффективности работы этих организаций, возникает вопрос о комплексной оценке их устойчивого развития. Цель исследования – комплексная оценка развития лесхозов на территории радиоактивного загрязнения на основе системы показателей устойчивого развития.

В основу методического подхода к комплексной оценке устойчивого развития лесхозов на территории радиоактивного загрязнения положена стратегия устойчивого развития лесного хозяйства на загрязненной радионуклидами территории, которая опирается на концептуальную модель, представляющую собой организационную взаимосвязь экологической, экономической и социальной сфер функционирования лесхозов в условиях постоянно действующего радиационного фактора [1]. Реализация стратегии базируется на развитии финансовой самостоятельности лесхозов, усилении социальной защиты работников лесного хозяйства при условии получения нормативно чистой лесной продукции и минимизации коллективной дозы облучения, что создаст предпосылки для роста качества жизни в зоне радиоактивного загрязнения.

Комплексная оценка устойчивого развития лесхозов осуществляется на основании оценочных показателей, сгруппированных по специальным блокам: экологическое, экономическое и социальное развитие. Для контроля пороговых (нормативных) значений с фактическими используются показатели экологической (радиационной), экономической и социальной безопасности. Достижение лесхозом устойчивого развития контролируется по всем показателям безопасности. Для проведения оценки принимается минимальный период – не менее трех лет в пределах действия Проекта организации и ведения лесного хозяйства лесхоза.

При *экологической оценке* используются оценочные показатели, сгруппированные по блокам: лесной фонд; лесопользование; потери лесных ресурсов; дозы облучения. Основным показателем лесного фонда является площадь покрытых лесом земель, тыс. га. В качестве основных показателей лесопользования выступают: фактический объем заготовки древесины, всего (ликвид на 1,0 тыс. га покрытых лесом земель), м³ и фактический объем заготовки древесины от рубок ухода за лесом (ликвид на 1,0 тыс. га покрытых лесом земель), м³. Рассчитываются показатели радиационной безопасности лесхозов: среднегодовая эффективная доза внешнего облучения работников лесного хозяйства не должна превышать 1 мЗв; содержание радионуклидов в древесине, продукции из древесины и древесных материалов не должно превышать допустимые уровни по РДУ/ЛХ-2001. Для контроля используется среднее значение удельной активности цезия-137 в заготовленной древесине (лесоматериалах круглых прочих, топливе древесном) и удельный вес древесины в течение последних трех лет с превышением допустимого уровня содержания цезия-137.

Функционирование лесхозов с *экономической* точки зрения должно быть направлено на достижение устойчивого развития лесхозов на основе рационального многоцелевого лесопользования, перехода лесхозов на финансовую самостоятельность с учетом радиоактивного загрязнения их территории. Оцениваемыми экономическими показателями являются: объем производства продукции в фактических ценах (долл. США); выручка от реализации продукции, работ, услуг (без налогов) на 1,0 тыс. га покрытых лесом земель (долл. США); собственные средства на 1,0 тыс. га покрытых лесом земель (долл. США); доля средств республиканского бюджета в общей сумме расходов, %; чистая прибыль на 1,0 тыс. га покрытых лесом земель (долл. США); рентабельность реализованной продукции, работ, услуг, %. В качестве интегрального показателя уровня *экономической безопасности* лесхозов применяется показатель маржинальной склонности к ассигнованиям из бюджета (S_a) в расчете на 1,0 тыс. га площади покрытых лесом земель с плотностью загрязнения до 15 Ки/км²:

$$S_a = \frac{\Delta A / \Delta L}{P},$$

где ΔA – прирост ассигнований из бюджета (+, –) при увеличении размера собственных средств лесхоза, направленных на ведение лесного хозяйства по сравнению с предыдущим годом на ΔL , р.; ΔL – прирост собственных средств лесхоза (+), направленных на ведение лесного хозяйства по сравнению с предыдущим годом, р.; P – площадь покрытых лесом земель с плотностью загрязнения до 15 Ки/км², тыс. га.

По мере роста величины S_a уровень экономической безопасности снижается, лесхоз попадает все в большую зависимость от республиканского бюджета, а по мере снижения S_a уровень экономической безопасности повышается, зависимость лесхоза от бюджета страны снижается. Лесхоз переходит на финансовую самостоятельность.

Оценка *социального развития* государственных лесохозяйственных учреждений осуществляется на основе годовых показателей среднесписочной численности и среднемесячной заработной платы, рассчитанная по среднегодовому курсу Национального банка Республики Беларусь. Основными показателями оценки социального развития лесхозов являются: уровень стабильности кадров; уровень травматизма; уровень образования; уровень профессиональной подготовки. Рассчитывается интегральный показатель социального развития лесохозяйственных учреждений как отношение суммы значений вышеуказанных показателей к числу показателей.

Показателями социальной безопасности для лесхозов являются: 1) коэффициент соотношения роста цен на потребительские товары и услуги с ростом среднемесячной оплаты труда работников по лесхозу; 2) коэффициент соотношения среднемесячной заработной платы работников по лесхозу к номинальной начисленной среднемесячной заработной плате по области.

На основании разработанных выше методических подходов была проведена оценка устойчивого развития ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз», ГСЛХУ «Наровлянский спецлесхоз» и ГСЛХУ «Чечерский спецлесхоз», результаты которой показали, что спецлесхозы работают неустойчиво – они не достигли соответствующего уровня экономической и социальной безопасности. Несмотря на то, что в последние годы в спецлесхозах наметилась тенденция снижения доли средств республиканского бюджета в общей сумме расходов на ведение лесного хозяйства, там нет устойчивой тенденции роста рентабельности реализованной продукции, работ, услуг, а среднемесячная оплата труда работников исследуемых спецлесхозов существенно ниже номинальной начисленной среднемесячной заработной платы по Гомельской области [2]. Для ускорения перехода на устойчивое развитие в спецлесхозах необходимо провести мероприятия, направленные на увеличение поступлений от лесного и охотничьего хозяйства; рост объемов лесопользования за счет увеличения освоения расчетной лесосеки по рубкам главного и промежуточного пользования лесом; увеличение объемов заготовки продукции побочного пользования лесом и подсобного сельского хозяйства (при соблюдении условия получения нормативно чистой лесной продукции); повышение производительности и оплаты труда работников спецлесхозов, улучшение условий их труда на территории радиоактивного загрязнения.

Литература

1. Ермонова И. В. Стратегия устойчивого развития лесного хозяйства на загрязненной радионуклидами территории (на примере лесхозов Гомельской области) : автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / И. В. Ермонова ; Белорус. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2012. – 27 с.
2. Гомельская область – номинальная начисленная среднемесячная заработная плата работников. Беларусь – Мировой атлас данных, 2016. – Режим доступа: <http://knoema.ru/atlas>. – Дата доступа: 14.10.2018.

УДК 658.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМИ ПЕРЕВОЗКАМИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ИХ КАЧЕСТВА С ПОМОЩЬЮ АНКЕТНОГО МЕТОДА

Д. А. Колпачева, Т. А. Бородич

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

Качество пассажирских перевозок – сложнопостроенная комплексная характеристика, с помощью которой можно оценивать удобство перевозок с позиций пассажира.

В систему городских пассажирских автомобильных перевозок г. Славгорода входят перевозки, осуществляемые автобусами и маршрутными такси. Основная доля Славгородского рынка пассажирских автомобильных перевозок сегодня приходится на автобусы.

Перед каждым пассажирским автотранспортным предприятием или организацией стоит задача повышения качества обслуживания населения и эффективности использования подвижного состава. Повышение качества перевозок предполагает реализацию целого комплекса взаимосвязанных мероприятий.

Оценить удовлетворенность пассажиров качеством перевозок в системе городских пассажирских автомобильных перевозок можно на основе их опроса с применением соответствующих анкет.

Авторами была разработана следующая анкета, в которой рассматривались вопросы по таким показателям качества перевозок, как комфортность поездки (S_1); доступность или временной показатель (S_2); безопасность поездки (S_3); информационный показатель или уровень информационного сервиса (S_4) и стоимостной показатель (S_5).

В данной анкете представлены 22 открытых вопроса, которые взаимосвязаны между собой и на которые отвечающий не сможет ответить «наугад».

Всего было охвачено анкетированием 132 человека, среди которых – 34 % мужчин и 66 % женщин.

По результатам анкетирования на прямой вопрос о качестве перевозок установлено, что уровнем качества пассажирских автомобильных перевозок в г. Славгороде удовлетворены 17 %; частично удовлетворены – 30 и не удовлетворены – 53 % анкетированных.

Около 60 % пассажиров желают в будущем пользоваться услугами маршрутного такси, 37 предпочли бы автобусы средней вместимости и только 7 % хотят добраться до необходимого места в автобусах большой и особо большой вместимости. Таким образом, большое количество маршрутных такси создает серьезную нагрузку на транспортную систему города. Очевидно, что необходимо сбалансированное применение в городе подвижного состава разной вместимости, причем преимущество должно быть отдано автобусам средней и большой вместимости.

Комфортабельностью перевозок в целом удовлетворены 22 % пассажиров, частично удовлетворены – 27 и не удовлетворены – 51 %. Уровень комфортности салона подвижного состава (сиденья, температура, освещенность, шум) устраивает и частично устраивает только 47 % опрошенных.

Из всех опрошенных 54 % не удовлетворены состоянием остановочного пункта, в то же время примерно 90 % пассажиров тратят всего около 5 мин или меньше на переход до остановочного пункта, т. е. удовлетворены его расположением.

Часто не выполняется расписание движения автобусов особо малой вместимости по маршруту (43 % респондентов). Утверждают 53 % пассажиров, что в основ-

ном в летнее время маршрутное такси приходится ждать около 12 мин и редко пропускают транспортное средство из-за загруженности его салона. Ожидают транспорт в течение 20 мин 36 % пассажиров.

Многие пассажиры отмечают критическое наполнение салона подвижного состава в часы «пик».

Большинство пассажиров (75 %) информацию о маршруте находят при помощи специально оборудованных надписей в транспортных средствах, что не очень удобно. Около 30 % сталкиваются с трудностями получения информации о маршрутах; 80 % отмечают отсутствие информации о режиме движения подвижного состава на маршрутах. Очевидно, что на остановках должна быть размещена информация о маршрутах, расписании и интервалах движения, в том числе в виде электронных табло.

По мнению подавляющего большинства опрошенных пассажиров, руководство города делает недостаточно для улучшения ситуации с пассажирским транспортом

Предложенная методика позволяет оценить уровень качества перевозок в системе городских пассажирских автомобильных перевозок. Выполнен анализ качества пассажирских перевозок на примере г. Славгорода. По результатам анкетного опроса пассажиров можно сделать вывод о том, что качество перевозок в городе требует значительного улучшения. Данные улучшения можно достичь с помощью закупки новых транспортных средств большой вместимости, а также маршрутных такси. Далее можно оборудовать остановки табло с расписанием автобусов и маршрутных такси и создать приложение, в котором пассажиры смогли бы отслеживать автобус по нужному времени. Также можно отправлять водителей на курсы повышения квалификации и курсы по этикету. Но самым главным улучшением будет приспособление транспортного средства для передвижения пассажиров с ограниченными возможностями и оборудование транспортного средства ремнями безопасности, поручнями.

УДК 339.139

СТИМУЛИРОВАНИЕ ПОКУПАТЕЛЕЙ В ОНЛАЙН- И ОФФЛАЙН-ТОРГОВЛЕ

Н. И. Исайчикова

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

В современных условиях все большее количество потенциальных покупателей используют для поиска товаров в сети Интернет. Стремление людей к экономии, опосредованное в том числе экономической рецессией, мотивирует к сравнению цен как в онлайн- так и оффлайн-торговле. Целью стимулирующих акций в оффлайн-торговле является формирование благоприятного эмоционального состояния покупателей в отношении реализуемых товаров за счет выкладки представленных товарных марок, атмосферы магазина и культуры обслуживания. Поскольку под рациональным выбором потребителя понимается изучение возможных альтернатив, когда он соотносит свои потребности с финансовыми возможностями, то стимулирующие акции позволяют этот выбор сформировать.

С одной стороны, покупатели становятся участниками обучающего процесса, где получение нового опыта и эмоций влияют на традиционные способы совершения покупок в оффлайн-торговле (в магазине). С другой – вопрос о соотношении онлайн- и оффлайн-торговли является одним из самых обсуждаемых в профессиональной среде специалистов. Вопрос о том, что виртуальное пространство может почти пол-

ностью заменить реальность, а работа, покупки и общение будут происходить исключительно через Интернет, и он может стать единственным рекламным каналом, – дискуссионный. Среди наиболее популярных причин того, что побуждало покупателей совершать незапланированную покупку онлайн, отмечаются [1]:

- скидки и акции (80 %);
- бесплатная доставка (40 %);
- почтовые рассылки (18 %);
- рекомендации сопутствующих товаров (17 %);
- реклама в интернете (13 %);
- реклама в соцсетях (12 %).

Стандартный мерчендайзинг и визуальные технологии представляют собой способ продвижения отдельных товаров или их комплексов. При этом одни товары стимулируют продажу других товаров без привлечения дополнительных инвестиций, тогда как другие способы привлечения внимания покупателей (например, реклама, стимулирование сбыта) требуют значительных расходов.

Технологии визуального мерчендайзинга в оффлайн-торговле, безусловно, отличаются от технологий визуализации в интернете. Все, что видит покупатель на сайте, является представленной информацией в виде иллюстраций и (или) текста. Онлайн-магазинам невозможно уловить «живую» реакцию клиента и тем самым сделать ему своевременное предложение. Информацию о товаре можно получить дистанционно, и для комфорта посетителей сайта в интернет-пространстве необходимо создать удобную систему подбора товаров и предоставления информации. Увеличить объем продаж через интернет позволяет выделение наиболее популярных товаров (например, ТОП-10), акцентирование внимания на новинках и привлекательных ценах, выделенных в отдельный раздел [2], [3]. В данном случае у продавцов есть возможность использования методов и оценок эффективности продаж (индекс ROI, Participation Ratio и др.) в условиях стимулирования сбыта в интернет-торговле.

Литература

1. Рамазанов, И. А. Влияние маркетинговой среды на традиции потребления россиян / И. А. Рамазанов, Т. Н. Парамонова, Т. И. Урясьева // *Практ. маркетинг.* – 2015. – № 11 (225). – С. 21–27.
2. Трайндл, А. *Нейромаркетинг: визуализация эмоций* / А. Трайндл ; пер. с нем. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2007. – 114 с.
3. Bernd, H. *Schmitt Experiential Marketing. How to get Customers to Sense, Feel, Think, Act, and Relate to Your Company and Brands* / Bernd H. Schmitt // *The Free Press / Simon & Schuster Inc.* – 2001. – P. 400.

УДК 658.26

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Т. Г. Фильчук

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

Современное белорусское промышленное производство отличается значительным удельным весом энергетических затрат в совокупности всех расходов на производство продукции, что отрицательно влияет на уровень эффективности и конкурентоспособности организаций. Высокая энергоёмкость промышленной продукции

снижает возможности роста и развития предприятий, поэтому вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются важными для современных организаций. Основная цель энергосбережения связана с организацией эффективного и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, при этом задействованы все сферы деятельности: организационная, практическая, научная, информационная и др. Снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы в ходе реализации энергосберегающих мероприятий является одной из составляющих, формирующих энергоэффективность. Под энергетической эффективностью (энергоэффективностью) в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об энергосбережении» понимается характеристика, отражающая отношение полученного эффекта от использования топливно-энергетических ресурсов к затратам топливно-энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта [1].

Энергоэффективность необходимо рассматривать в системе всех составляющих экономической эффективности производства. Данная категория характеризует результативность производства, уровень использования ресурсов или отдачи затрат, определяемый отношением достигнутых результатов и использованных ресурсов (осуществленных затрат на производство). Уровень экономической эффективности оценивается относительной величиной, в то же время необходимо иметь значения ряда абсолютных показателей. Энергоэффективность является одним из видов экономической эффективности, а именно – эффективностью использования отдельных видов ресурсов.

Для определения уровня как экономической эффективности в целом, так и энергоэффективности, в частности, используются определенные критерии и показатели. В качестве критерия используется либо увеличение результата на единицу вложенных ресурсов (затрат), либо снижение вложенных ресурсов (затрат) на единицу результата. Для оценки эффективности существует система показателей, которые можно структурировать по разным группам (общие и сравнительные, статические и динамические (на основе дисконтирования)).

Подходы к определению экономической эффективности реализации проектов повышения энергетической эффективности, применяемые в практической деятельности отечественных организаций промышленности, базируются на следующих основных нормативных документах:

1. Методические рекомендации по составлению технико-экономического обоснования для энергосберегающих мероприятий, утвержденные Комитетом по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь 22 декабря 2003 г. (последняя редакция данных методических рекомендаций утверждена 15 июня 2018 г. Департаментом по энергоэффективности при Государственном комитете по стандартизации Республики Беларусь) [2].

2. Инструкция по определению экономической эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий, утвержденная совместным постановлением Министерства экономики Республики Беларусь, Министерства энергетики Республики Беларусь и Комитета по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь 24 декабря 2003 г. № 252/45/7 [3].

Методические рекомендации по составлению технико-экономического обоснования для энергосберегающих мероприятий содержат подходы к обоснованию 29 типичных энергосберегающих проектов. В основе подхода к обоснованию энергосберегающих мероприятий лежит расчет годовой экономии энергии в натуральных единицах (Гкал, кВт·ч) с последующим пересчетом в тонны условного топлива. Также в рамках данного подхода проводится определение укрупненных капиталов-

вложений, которые включают затраты на выполнение предпроектных работ (ТЭО, обоснование инвестиций, бизнес-план) проектных работ, приобретение оборудования, производство строительно-монтажных и пуско-наладочных работ [2]. В заключение проводится расчет простого срока окупаемости мероприятия как отношения капиталовложений в мероприятие к годовой экономии условного топлива от внедрения данного мероприятия в стоимостном выражении. При этом стоимость 1 т у. т. уточняется на момент выполнения расчета.

Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий предусматривают оценку энергосберегающих мероприятий по показателю простого срока окупаемости и не рассматривают оценку эффективности на основе динамических показателей эффективности инвестиционных вложений.

Данный недостаток устраним с помощью Инструкции по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий, которая определяет единый методический подход к определению эффективности использования средств. Оценка эффективности использования средств, направляемых на реализацию энергосберегающих мероприятий, производится на основании следующей системы показателей: простой срок окупаемости (T_n) – не более 10 лет; динамический срок окупаемости (T_d) – не более 15 лет; чистый дисконтированный доход (ЧДД) – более 0; внутренняя норма доходности ($E_{вн}$) – более E – нормативной ставки дисконтирования; индекс прибыльности (Π_n) – более 1,0 [3]. Кроме нормативных значений данных показателей инструкция определяет и порядок их расчета.

Таким образом, в применяемых в настоящее время в практике промышленных предприятий подходах к определению экономической эффективности реализации проектов повышения энергоэффективности задействованы общепринятые методики оценки экономической эффективности, в том числе с учетом фактора времени.

Л и т е р а т у р а

1. Об энергосбережении : Закон Респ. Беларусь от 8 янв. 2015 г. № 239-3 / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 11.01.2015 г., 2/2237. – Режим доступа: http://energoeffekt.gov.by/downloads/laws/act/201501_law.pdf. – Дата доступа: 11.10.2018.
2. Методические рекомендации по составлению технико-экономического обоснования для энергосберегающих мероприятий : утв. Департаментом по энергоэффективности Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь 11 мая 2017 г. / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 11.10.2018.
3. Инструкция по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий : постановление М-ва экономики Респ. Беларусь, М-ва энергетики Респ. Беларусь, Ком. по энергоэффективности при Совете Министров 24 дек. 2003 г. № 252/45/7 / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 11.10.2018.

УДК 658.26:005.93

РОЛЬ, ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ ЭНЕРГОЛОГИСТИКИ

Т. В. Романькова

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

Машиностроительный комплекс Республики Беларусь входит в состав *обрабатывающей промышленности*, выпускающей машины, оборудование и средства производства.

Постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 5 декабря 2011 г. утвержден общегосударственный классификатор ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности» № 85 «Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2012 г., № 43, 8/24941). В соответствии с классификатором к машиностроительному комплексу Республики Беларусь относятся следующие подсекции:

1. Подсекция СК – Производство машин и оборудования.
2. Подсекция СЛ – Производство транспортных средств и оборудования.
3. Подсекция СЖ – Производство электрооборудования.
4. Подсекция СИ – Производство вычислительной, электронной и оптической аппаратуры [1].

Структура машиностроительного комплекса Республики Беларусь представлена на рис. 1.

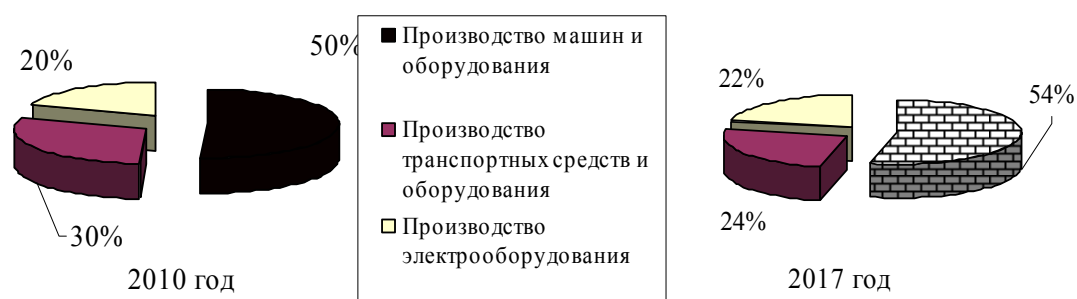


Рис. 1. Структура машиностроительного комплекса Республики Беларусь

Данные рис. 1 показывают, что в 2017 г. по сравнению с 2010 г. наблюдаются незначительные изменения в структуре машиностроения в сторону роста доли ключевой подсекции «Производство машин и оборудования» (на 4 %) и подсекции «Производство электрооборудования» (на 2 %).

Высокая степень зависимости от внешних источников сырья, большая текучесть кадров и финансовый кризис ведут к повышению себестоимости выпускаемой продукции и снижению ее конкурентоспособности на внешних рынках.

Эффективное использование энергоресурсов – одно из направлений снижения себестоимости производимой продукции, роста ее прибыльности и цель энергологистики.

Энергологистика решает задачи микро- и макроуровня.

Задачи микроуровня:

– выбор вида транспорта доставки топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) потребителям;

– выбор логистических посредников, обеспечивающих доставку энергоресурсов от начального поставщика до конечного потребителя;

– расчет экономической целесообразности выбора используемого вида энергоресурса;

– планирование процесса поступления ТЭР на предприятия;

– контроль за доставкой энергоресурсов.

К задачам макроуровня следует отнести:

– выбор схемы распределения потоков энергоресурсов;

- формирование и развитие нетрадиционной энергетики;
- выбор вариантов обеспечения республики энергоресурсами и др.

Энергологистика выполняет следующие функции на мировом уровне:

1. Определение потребности предприятия и его структурных подразделений в ТЭР.
2. Разработка стратегии приобретения энергоресурсов.
3. Рассмотрение и оценка предложений от поставщиков ТЭР.
4. Согласование цены поступающих энергоресурсов.
5. Контроль за сроками поставки ТЭР.
6. Доведение энергоресурсов до производственных подразделений.
7. Нормирование расхода энергоресурсов.

На микроуровне энергологистика неразрывно связана с функциональными областями логистики: закупочной, распределительной, транспортной, таможенной, складской и, соответственно, без нее невозможно нормальное их функционирование.

Аналогичным образом энергологистика имеет связь и оказывает непосредственное влияние на результаты работы предметных видов логистики, к которым отнесены: отрасли промышленности, фармацевтическая, социально-культурной сферы, сельского хозяйства, сервисная логистика и др.

В настоящее время значимость энергологистики возрастает, что обусловлено следующими факторами:

1) экономический. В современных условиях развития экономики на первый план выдвигается поиск возможностей сокращения производственных затрат за счет оптимизации потребления энергоресурсов и роста прибыли. Энергологистика позволит связать экономические интересы производителей и потребителей;

2) информационный. Развитие научно-технического прогресса и экономики способствуют развитию информационных связей, которые являются причиной и следствием рыночных отношений. Информатика связывает рынок и энергологистику, так как предметом, средством и составляющей логистических процессов являются информационные и энергетические потоки;

3) технический, т. е. энергологистика развивается на основе современных технических достижений в процессах добычи, переработки, транспортировки и потребления ТЭР;

4) организационный. В условиях глобализации национальной торговли, развития и появления новых интеграционных форм, концепций управления и координации осуществляется обеспечение логистических взаимодействий предприятий-потребителей и поставщиков по вопросам снабжения энергоресурсами.

Л и т е р а т у р а

1. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 005–2011. Виды экономической деятельности» (ОКЭД) // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – 2011. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/klassifikatory/obschegosudarstvennyeklassifikatory-respubliki-belarus-ispolzuemye-dlya-zapolneniya-osudarstvennoi-statisticheskoi-otchetnosti/obschegosudarstvennyiklassifikator-okrb-005-2011-vidyekonomicheskoi-deyatelnosti/>. – Дата доступа: 26.06.2018.
2. Промышленность Республики Беларусь : стат. сб. // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – 2017. – Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/realny-sector-ekonomiki/promyshlennost/publikatsii_13/index_5411/. – Дата доступа: 12.10.2018.

УДК 658.2

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ И СТРУКТУРЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ
В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

В. А. Голуб

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

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. (НСУР–2030) предполагается переход Республики Беларусь к постиндустриальному обществу и инновационному развитию экономики при гарантировании всестороннего развития личности, повышении стандартов жизни человека и обеспечении благоприятной окружающей среды.

Достижение этого условия возможно на основе модернизации системы экономических отношений и эффективного управления на всех уровнях, акцентируя внимание на уровне управления производственными процессами каждого конкретного предприятия.

Одной из причин ускорения развития цивилизации стала способность осуществлять социальную адаптацию. В основе этой способности лежит деятельность по перестройке структуры общества и его институтов, которая создает условия для выработки качеств, необходимых для выживания. В современных условиях социально-экономического развития основой долгосрочного и эффективного функционирования является реализация такого подхода к адаптации, при котором происходит предварительное осознание возможности проявления дисбалансирующих факторов и заблаговременная выработка качеств, необходимых для нейтрализации влияния этих факторов. В современных условиях адаптивность является важнейшим фактором устойчивого развития предприятия и достижения им преследуемых текущих целей деятельности.

Реализация опережающего приспособления промышленных организаций к действительности в достижении сбалансированного состояния подразумевает использование стратегического управления, при котором на первый план выходит прогнозирование, предугадывание, а не реагирование.

В процессе реализации промышленной организацией стратегического управления определяются цели и осуществляется деятельность по их достижению. Этот процесс является динамическим и требует синхронизации деятельности иерархических компонентов самой организации (системы управления и производственных подразделений) и внешней среды.

Развитие адаптивности промышленных организаций Республики Беларусь невозможно без внедрения инноваций и необходимых для этого больших инвестиционных вложений.

Для осуществления управления развитием промышленной организацией на основе внедрения инноваций возможно применение положений теории взаимной опережающей многоуровневой адаптации.

Опережающий многоуровневый характер взаимной адаптации организации со средой обуславливает заблаговременное формирование определенной структуры управления, ориентированной на взаимную адаптацию со средой в определенном диапазоне изменения ее параметров. При ожидаемом выходе параметров внешней

среды за пределы этого диапазона предприятие должно своевременно изменить свою структуру и способ функционирования – стратегию.

В современных условиях организационной формой функционирования промышленной организации и повышения уровня ее адаптивности может являться виртуальная сетевая организация.

Виртуальная сетевая организация – это сеть организаций, в которой интегрируются предприятия, выпускающие продукцию, поставщики сырья и материалов, научные организации, сбытовые организации. Сетевая организация использует достижения в области информационно-вычислительных технологий, за счет чего является средством для разработки эффективных вариантов управленческих решений и одновременно средой их реализации.

Литература

1. Голуб, В. А. Управление хозяйственными организациями / В. А. Голуб. – Гомель : ГПИ им. П. О. Сухого, 1996. – 157 с.
2. Голуб, В. А. Эффективность территориального управления / В. А. Голуб. – Минск : Выш. шк., 1992. – 106 с.
3. Управление организацией : учебник / под ред. А. Г. Поршнева. – М. : ИНФРА-М, 2008. – 736 с.

УДК 332.1:005.342

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ АКТИВИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕГИОНЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ

Ю. С. Пронузо

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

Работы белорусских экономистов свидетельствуют об актуальности использования категорий «механизм», «механизм активизации» с целью совершенствования инновационных процессов. Основам механизма активизации инновационной деятельности (ИД) посвящены исследования: А. Е. Дайнеко (приводит состав элементов структуры экономического механизма ИД в рамках исследования инновационно-инвестиционной активности предприятий); В. В. Пузикова (рассматривает необходимость и особенности формирования социально-экономического механизма обеспечения инновационного развития экономики республики, в основе которого стоит система управленческих воздействий и стимулирования человека); С. М. Воронина (обосновывает необходимость создания организационно-экономического механизма управления ИД предприятий); Л. Г. Тригубович (разработана модель управления инновационным развитием экономики, в рамках которой в качестве центрального элемента механизма управления, предназначенного для создания мотивационной основы инновационного развития, выделена система стимулирования), и др. Белорусские ученые при наличии отдельных структурных элементов отмечают отсутствие взаимодействий между субъектами ИД, выступающее причиной низкой ее результативности.

Основной задачей в исследовании экономических механизмов выступает поиск наиболее эффективных схем управления и взаимодействий, которые способствовали бы достижению целевой функции механизма. Исходя из авторской трактовки, *организационно-экономический механизм активизации ИД (ОЭМАИД) – процесс целенаправленного воздействия управляющей подсистемы на управляемую, характер и*

уровень которого определяют возможности интенсификации ИД свободных в экономических решениях субъектов, функционирующих в условиях конкурентного рынка и изменяющейся внешней среды, результативность деятельности которых может быть выражена на основе показателя валовой добавленной стоимости (ВДС) [1]. Организационный механизм активизации ИД базируется на совокупности институциональных структур, посредством деятельности которых инструменты разноуровневого воздействия (макро-, мезо-) формализуются в определенных нормативных документах и действуют в конкретных социально-экономических условиях, реализуя свое назначение. Экономический механизм активизации ИД определяется совокупностью методов и инструментов государственного воздействия на субъекты ИД с целью повышения результативности ИД и его влияния на социально-экономическое развитие отдельных регионов и государства в целом.

Разработанный ОЭМАИД и его внутреннее устройство в отличие от имеющихся наработок целесообразно рассматривать в качестве системы взаимосвязанных элементов, направленных на развитие внутри региональных связей и подчиненных достижению определенной цели. ОЭМАИД в регионе включает: подсистемы и блоки управления, субъекты, объекты, базисные движущие силы, факторы активизации, процесс управления, показатель результативности, методическое обеспечение оценки уровня развития ИД и другие элементы, объединенные единой целью и задачами, направленными на активизацию ИД (рис. 1). В качестве основной цели разработанного ОЭМАИД выступает активизация и повышение результативности ИД на основе усиления взаимодействий между ее субъектами. По сути, разработанный ОЭМАИД является «рычагом» активизации ИД. В рамках рассмотрения активизации ИД посредством предлагаемого ОЭМАИД предполагается целевая ориентация на повышение ее результативности. ИД должна влиять на характеристики производимой продукции и формирование ВДС, которая включается в состав ВРП, тем самым формируется региональный экономический эффект от инноваций, рост которого может быть обеспечен в результате увеличения продукции с высоким уровнем ВДС.

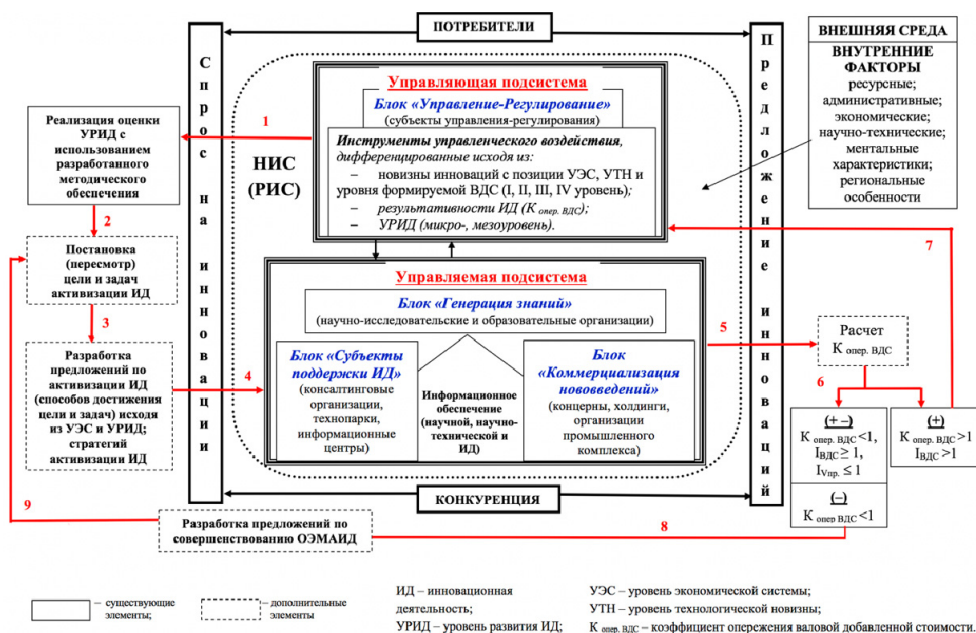


Рис. 1. Графическое отображение ОЭМАИД

Именно ИД призвана и позволяет создать высокую ВДС в продукции. Прогрессивные технологии позволяют более рационально использовать ресурсы, экономить на материалах снижать себестоимость, что впоследствии, исходя из логики расчета показателя, должно приводить к росту ВДС. Вышеизложенное послужило причиной выбора коэффициента опережения ВДС ($K_{\text{опер.ВДС}}$) в качестве показателя результативности в рамках активизации ИД (рис. 1), количественно измеряющего достигнутый уровень ее развития, определяемого через отношение индекса ВДС ($I_{\text{ВДС}}$) и индекса объема произведенной продукции ($I_{V_{\text{пр}}}$), показывающего, во сколько раз быстрее изменяется ВДС по сравнению с изменением объема производства в результате изменения доли инновационной продукции в общем объеме произведенной продукции. Результативность развития ИД, определяемая на основе $K_{\text{опер.ВДС}}$, может быть признана достаточной (+), недостаточной (+), неудовлетворительной (–), выступает основанием применения дифференцированных мер управленческого воздействия с целью активизации ИД.

Таким образом, предложенный ОЭМАИД направлен на создание условий активизации ИД в регионах и может быть использован органами регионального управления в целях принятия обоснованных управленческих решений в рамках интенсификации ИД. Может быть рассмотрен ОЭМАИД как инструмент дальнейшего развития РИС, направленный на активизацию взаимодействий субъектов ИД и повышение ее результативности.

Литература

1. Пронузо, Ю. С. Механизм активизации инновационной деятельности / Ю. С. Пронузо // Перспективные направления развития региональной экономики : сб. материалов VII Респ. науч.-практ. конф., Брест, 19 мая 2017 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Д. А. Петрукович [и др.]. – Брест : БрГУ, 2017. – С. 143–146.

УДК 339.1

ОЦЕНКА БАРЬЕРОВ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А. В. Авсянникова, Н. В. Котельникова

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

Целью данного исследования является изучение и выявление барьеров во внешнеэкономической деятельности ОАО «Могилевская фабрика мороженого», определение перспективных направлений деятельности предприятия по сглаживанию барьеров.

Внешнеэкономическая деятельность является важнейшей характеристикой социально-экономического развития не только страны в целом, но и отдельно взятого субъекта хозяйствования. Оценить внешнеэкономическую деятельность предприятия возможно через объем экспортируемой им продукции, работ или услуг на внешний рынок.

Оценка барьеров во внешнеэкономической деятельности предприятия является важной частью управления хозяйствующим субъектом. Внешнеэкономическая деятельность реализуется через внешнюю торговлю, которая обеспечивает доход предприятия, получаемый в иностранной валюте, а наличие барьеров в деятельности предприятия, связанной с экспортом продукции, может привести к потере такого дохода и ухудшению финансового положения предприятия.

Барьеры во внешнеэкономической деятельности хозяйствующего субъекта можно разделить на:

– рыночные и конкурентные барьеры – это ограничения для вступления на рынок (законодательные барьеры, технические препятствия к ввозу товаров, недоста-

точная доступность информации, особенности ценообразования, сложившиеся правила конкуренции);

– финансовые барьеры – это колебания валютных курсов, таможенные правила и процедуры «вторых» стран, особенности экономической политики государств;

– барьеры в дистрибуции, связанные с институциональной инфраструктурой, различиями в работе национальных банков, страховых компаний, юридических консультантов, транспортных компаний и прочих институтов [1].

На примере промышленного предприятия Могилевской области Республики Беларусь (РБ) ОАО «Могилевская фабрика мороженого» проведем оценку внешней торговли, а также определим барьеры, влияющие на нее.

В таблице представлены объемы реализации продукции предприятия за пределы РБ в разрезе нескольких товарных групп.

Объемы реализации продукции ОАО «Могилевская фабрика мороженого» за пределы Республики Беларусь в разрезе товарных групп

Период реализации	Реализация продукции по наименованию товарной группы, т			
	Майонез	Сырок глазированный	Полуфабрикаты из теста	Мороженое
За июнь 2017 г.	0,000	0,000	414,000	16449,680
За июнь 2016 г.	32,000	580,325	0,000	917,520
Изменение, т	-32,000	-580,325	414,000	15532,160

Из таблицы следует вывод, что постоянно экспортируемой товарной группой ОАО «Могилевская фабрика мороженого» является мороженое. Это видно по наличию объемов реализации в обоих рассматриваемых периодах. При этом в июне 2017 г. объемы реализации данной товарной группы выросли до 16 449,68 т, что на 15 532,16 т больше, чем в июне 2016 г. Также можно отметить товарную группу рассматриваемого предприятия, которая вышла на внешний рынок только к 2017 г. Так, в июне 2017 г. полуфабрикаты из теста были реализованы в объеме 414 т. Неблагоприятное положение занимают такие группы, как майонез и сырок глазированный. В июне 2017 г. экспорт продукции по данным товарным группам прекратился. Данная ситуация отрицательно влияет на деятельность предприятия с точки зрения неполучения возможного дохода в иностранной валюте.

Исходя из представленного примера, можно выделить барьеры, которые отрицательно влияют на внешнеторговую деятельность ОАО «Могилевская фабрика мороженого»:

1) ограниченные возможности инвестирования на финансирование мероприятий по продвижению товаров на внешние рынки, на реализацию программ поиска торговых, кооперационных и инвестиционных партнеров;

2) наличие недостаточной информации о состоянии международных рынков, о конкурентной ситуации и сложившемся на данный момент потребительском спросе на них;

3) неэффективная деятельность предприятия при разработке конкретных стратегий продвижения товаров на внешние рынки;

4) небольшое количество научно-исследовательских разработок;

5) несовершенство правовой базы в области внешнеэкономической деятельности.

Проблемы, связанные с нехваткой финансовых ресурсов, влекут за собой снижение экономической эффективности деятельности предприятия. Все вышеперечисленные барьеры могут уменьшить или полностью исключить экспорт продукции на внешний рынок.

С учетом выявленных барьеров во внешнеэкономической деятельности предприятие должно разработать направления, которые позволят решить первостепенные проблемы.

Предлагаемыми направлениями деятельности предприятия по сглаживанию барьеров во внешнеэкономической деятельности являются:

- развитие собственной технологической базы, производства продукции, которая являлась бы конкурентоспособной на зарубежном рынке;
- обеспечение информационной подкованности в области существующих для данного предприятия возможностей на внешнем рынке;
- поиск достаточных источников финансирования для выхода на внешние рынки;
- потребность снижения логистических издержек и улучшение логистического сервиса;
- необходимость расширения объема продаж за счет освоения новых рынков, в частности, за рубежом, что требует продуманных логистических стратегий и решений по качеству продукции;
- применение бенчмаркинга, последовательного и непрерывного процесса измерения и сопоставления бизнес-процессов организации с мировыми лидерами для получения информации, которая помогает предпринимать шаги по улучшению показателей своей деятельности [2].

Преодоление барьеров во внешнеэкономической деятельности является важным аспектом в функционировании производственного предприятия в современном мире. Зарубежные страны, защищая интересы собственных производителей, постоянно препятствуют различными способами ввозу импортной продукции. Так как для отечественных предприятий внешняя торговля является важным источником доходов, им необходимо грамотно оценить все имеющиеся барьеры для экспорта продукции и разработать направления для поэтапного решения возникших проблем. В результате хозяйствующий субъект получает возможность увеличить долю занимаемого рынка не только в своей стране, но и за рубежом, что является положительным результатом деятельности предприятия в целом.

Л и т е р а т у р а

1. Жудро, М. К. Внешнеэкономическая деятельность. Практикум : учеб. пособие / М. К. Жудро, М. М. Жудро. – Минск : Выш. шк., 2017. – 160 с.
2. Зорина, Т. Г. Международная логистика. Практикум : учеб. пособие / Т. Г. Зорина, С. В. Дирко. – Минск : БГЭУ, 2018. – 290 с.

УДК 338.45.01

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. А. Алексеенко¹, Ю. В. Сувалова²

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», Республика Беларусь*

²*Восточно-Китайский педагогический университет, г. Шанхай,
Китайская Народная Республика*

Возможность функционирования инновационных экосистем на платформе стран постсоветского пространства большинство аналитиков оценивают скептически, поскольку попытки ряда постсоветских стран сводятся к созданию региональ-

ных инновационных систем путем простой адаптации существующей в стране инновационной инфраструктуры к конкретным нуждам отраслей и территорий [1]–[3]. Для запуска инновационной модели роста экономике нужна не только современная инфраструктура (научные центры, технопарки, институты развития и др.), но, прежде всего, горизонтально сетевая среда коммуникаций между всеми секторами и организациями [2, с. 29]. Специфической особенностью инновационной системы Республики Беларусь является ее линейность и ограниченность узким кругом крупных коммерческих организаций. Доля малого и среднего бизнеса во внутренних инновационных разработках составляет менее 5 %. По этой причине сетевое взаимодействие ограничено, и в рамках инновационной политики сохраняется «осторожное» отношение к инновационной деятельности, осуществляемой за счет собственных источников. Лишь 26 % белорусских промышленных организаций осуществляют собственные НИОКР в промышленном производстве. В совокупности факторов, препятствующих распространению инноваций в организациях промышленности Республики Беларусь в 2016 г., «недостаток информации о новых технологиях» в качестве решающего фактора отмечает лишь 101 (6,83 %) респондент, а в качестве незначительного фактора – 1018 (68,79 %) респондентов. Невосприимчивость организации к нововведениям также не имеет для большей части респондентов основного значения при продвижении инноваций (1068 (76,02 %) против 96 (6,84 %) респондентов, выделивших данный фактор как решающий. Аналогичные оценки даны и по фактору «недостаток возможностей для кооперирования с другими организациями»: решающую роль фактора отметили 100 (7,24 %) респондентов, незначительное влияние – 955 (69,11 %). Ключевыми по-прежнему для белорусских респондентов остаются экономические факторы: недостаток собственных денежных средств (79,2 % организаций отводят данному фактору решающую или значительную роль); высокая стоимость нововведений (79,86 %) и длительные сроки окупаемости нововведений (72,76 %) [4, с. 112].

Несмотря на указанные недостатки, Беларусь делает ставку на растущий коммерческий сектор, инновационная стратификация которого применительно к отраслям промышленности включает: высокотехнологичные; среднетехнологичные высокого технологического уровня; среднетехнологичные низкого технологического уровня и низкотехнологичные виды экономической деятельности (ОКРБ005–2011). В качестве количественного критерия, отражающего стратификационный профиль промышленности Республики Беларусь, выступает показатель доли инновационной продукции, поскольку он дает важную информацию о воздействии продуктовых инноваций на общую структуру оборота (таблица) [5, с. 24].

**Удельный вес инновационной продукции отраслей промышленности
в общем объеме отгруженной продукции, %**

Виды экономической деятельности отраслей промышленности	2016 г.
Удельный вес отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объеме отгруженной продукции (работ, услуг) организаций промышленности, %	16,3
Горнодобывающая промышленность	0,06
Обрабатывающая промышленность	16,2
Высокотехнологичные:	0,57
производство основных фармацевтических продуктов и фармацевтических препаратов	0,18
производство вычислительной, электронной и оптической аппаратуры	0,39

Окончание

Виды экономической деятельности отраслей промышленности	2016 г.
Среднетехнологичные высокого уровня:	4,48
производство химических продуктов 0,42	0,42
производство электрооборудования	0,46
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	1,83
производство транспортных средств и оборудования	1,77
Среднетехнологичные низкого уровня:	9,87
производство кокса и продуктов нефтепереработки	8,43
производство резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов	0,65
металлургическое производство; производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	0,76
производство прочих готовых изделий; ремонт, монтаж машин и оборудования	0,03
Низкотехнологичные (низкого уровня) виды экономической деятельности:	1,29
производство продуктов питания, напитков и табачных изделий	0,87
производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха	0,27
производство изделий из дерева и бумаги; полиграфическая деятельность и тиражирование записанных носителей информации	0,15

Большая часть отгруженной инновационной продукции в 2016 г. относилась к среднетехнологичным отраслям высокого и низкого уровней (88,69 %), к лидерам можно отнести производителей кокса и нефтепродуктов (52,04 %); машин и оборудования, не включенных в другие группировки (11,3 %), а также производство транспортных средств и оборудования (10,93 %). Доля высокотехнологичного сектора в общем объеме инновационной продукции составляет 3,52 %; низкотехнологичного – 7,97 %. Примечательно, что наиболее значимые виды деятельности с точки зрения затрат не обязательно совпадают с видами деятельности, в которых наиболее вероятны инновации. Например, производство электронной и оптической аппаратуры в 2016 г. имело самую низкую долю затрат среди ведущих секторов (30 488 тыс. р. или 3,92 % от совокупных затрат отраслей промышленности на технологические, организационные и маркетинговые инновации). [5, с. 96]. В целом нынешняя структура финансирования, по оценке экспертов ЕЭК ООН, не является идеальной для стимулирования инноваций в секторе предприятий, ориентированных на спрос [3]

Литература

1. Синергия пространства: региональные инновационные системы, кластеры и перетоки знания / отв. ред. А. Н. Пилясов. – Смоленск : Ойкумена, 2012. – 760 с.
2. Смородинская, Н. В. Сетевые инновационные экосистемы и их роль в динамизации экономического роста / Н. В. Смородинская // Инновации. – 2014. – № 7. – С. 27–33.
3. Инновации для устойчивого развития. Обзор по Республике Беларусь. ЕЭК ООН – Нью-Йорк, Женева, 2017. – 200 с. – Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/15ErI6sylvRRQxBs0N-c3IqsT8mv6PmxW4/view>. – Дата доступа: 27.09.2018.
4. Наука и инновационная деятельность в Республике Беларусь : стат. сб. 2017. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2017. – 139 с.
5. О состоянии и перспективах развития науки в Республике Беларусь по итогам 2016 г. : анализ. докл. / под ред. А. Г. Шумилина, В. Г. Гусакова. – Минск : ГУ «БелИСА», 2017. – 222 с.

УДК 338.2

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ****Е. П. Пономаренко***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Платежеспособность является одним из важнейших критериев оценки финансового состояния предприятия и в то же время ключевым фактором, определяющим стабильность его деятельности и дальнейшее развитие. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы создания эффективной системы управления платежеспособностью, в основу которой положен постоянный мониторинг обеспеченности долгов предприятия источниками покрытия (платежными средствами) и принятие адекватных сложившейся ситуации решений в области управления активами и источниками их формирования. Первостепенная роль в решении этих вопросов отводится развитию методик анализа платежеспособности предприятия как важнейшего источника информационного обеспечения системы менеджмента.

Проведенные исследования показывают, что, несмотря на достаточно большое количество трудов в этой области, на сегодняшний день отсутствуют однозначные критерии разграничения понятий «ликвидность» и «платежеспособность», что приводит к их отождествлению и, как следствие, к ошибкам в выборе показателей их оценки, а также к искажению информации, формируемой для целей управления. В связи с этим целью настоящего исследования является уточнение сущностных характеристик данных понятий, разграничение на этой основе системы показателей их оценки и дальнейшее развитие методик анализа платежеспособности, обеспечивающее повышение аналитичности и качества управленческой информации, формируемой по его результатам.

Критический обзор литературы по исследуемой проблематике выявил множественность и неоднозначность мнений авторов по определению сущности ликвидности и платежеспособности. Обобщая мнения ученых и экономистов относительно соотношения данных категорий, следует отметить, что многие исследователи при характеристике платежеспособности упоминают об обязательствах, требующих немедленного погашения, а при определении ликвидности – о краткосрочных обязательствах безотносительно к сроку их погашения [1], [2]. По нашему мнению, различие между ними состоит в условиях погашения обязательств. Ликвидность отражает способность предприятия удовлетворить требования кредиторов в случае одновременного выставления ими требований о немедленном погашении всех краткосрочных обязательств (например, в случае банкротства предприятия). Платежеспособность – это способность предприятия рассчитаться по своим обязательствам по мере наступления сроков погашения, предусмотренных хозяйственными договорами (в краткосрочном или долгосрочном периоде). В условиях допущения непрерывности функционирования предприятия отождествление его ликвидности и платежеспособности нецелесообразно, так как выполнение обязательств перед кредиторами происходит постепенно в соответствии со сроками их погашения.

Поскольку удовлетворение требований кредиторов о немедленной выплате долга предполагает наличие определенной суммы денежных средств, мы считаем, что при оценке ликвидности предприятия краткосрочные обязательства следует сопоставлять не с общей суммой краткосрочных активов, а только с ликвидными крат-

косрочными активами. К их числу относятся денежные средства, краткосрочные финансовые вложения и краткосрочная дебиторская задолженность. В связи с этим в качестве показателей ликвидности предприятия необходимо использовать коэффициенты абсолютной и быстрой ликвидности.

Перечень показателей, применяемых для оценки платежеспособности, определяется выбранной методикой их исследования. В настоящее время в экономической литературе [1]–[3] и нормативных правовых актах Республики Беларусь [4] представлены три основных методики анализа платежеспособности предприятия: путем составления платежного календаря; на основе изучения денежных потоков; посредством расчета финансовых коэффициентов. Первая из них позволяет дать оценку платежеспособности в ближайшем будущем (оперативно); вторая – за истекший период времени и на будущее; третья – на относительно отдаленную перспективу. Для целей управления особую значимость имеет оценка платежеспособности на краткосрочную перспективу (до одного года).

Текущая платежеспособность предприятия зависит от скорости преобразования краткосрочных активов в денежные средства. Поэтому для ее оценки, по нашему мнению, целесообразно использовать новую методику, основанную на сравнении краткосрочных обязательств с краткосрочными активами, средняя продолжительность превращения которых в денежные средства меньше или равна среднему сроку погашения соответствующих обязательств в днях. Ее суть заключается в следующем. Сначала на основании оборотно-сальдовой ведомости по счетам бухгалтерского учета, применяемой для составления годового бухгалтерского баланса, необходимо рассчитать частные показатели оборачиваемости краткосрочных активов (период оборота) и краткосрочных обязательств (период погашения), учитываемых на отдельных счетах (за исключением счетов учета денежных средств). Поскольку краткосрочные активы включают в себя разнородные элементы, и некоторые из них в процессе кругооборота не напрямую трансформируются в денежные средства, а переходят из одной функциональной формы в другую, то общий период оборота таких активов будет определяться суммированием периодов оборота активов, которые участвуют в процессе их трансформации в денежную форму. Например, для промышленных предприятий характерна следующая схема кругооборота краткосрочных активов в операционном цикле: запасы сырья и материалов → затраты в незавершенном производстве → готовая продукция → дебиторская задолженность → денежные средства. Затем краткосрочные обязательства и краткосрочные активы целесообразно сгруппировать: первые – по периоду погашения; вторые – по периоду оборота, разделив их на четыре группы с интервалом в 90 дней. После этого следует сопоставить величину обязательств по каждой группе со стоимостью активов по соответствующей группе, рассчитав таким образом суммы излишка или недостатка платежных средств и коэффициенты покрытия.

Разработанные по результатам исследования рекомендации автора по разграничению сущности понятий «ликвидность» и «платежеспособность», показателей их оценки, а также предложенная методика анализа позволят упорядочить процесс формирования объективной информации для целей управления текущей платежеспособностью предприятия.

Литература

1. Ковалев, В. В. Финансовый учет и анализ: концептуальные основы / В. В. Ковалев. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 720 с.
2. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности : учеб. пособие / Г. В. Савицкая. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 284 с.

3. Ефимова, О. В. Финансовый анализ: современный инструментарий для принятия экономических решений : учебник / О. В. Ефимова. – 5-е изд., испр. – М. : Изд-во «Омега-Л», 2014. – 348 с.
4. Об определении критериев оценки платежеспособности субъектов хозяйствования : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 12 дек. 2011 г., № 1672 (с изм. и доп.) // Консультант-Плюс: Беларусь. Технология 3000 / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

УДК 339.138

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В МАРКЕТИНГЕ

А. В. Шах¹, О. В. Лапицкая²

¹*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Республика Беларусь*

²*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Принятие решений в условиях рынка может быть описано как процедура формирования стратегии и тактики борьбы против конкурентов, в результате чего исследование конкурентоспособности отдельной фирмы сводится к исследованию процедур принятия решений. Эти процедуры – некоторый генофонд фирмы, от которого зависят жизнеспособность и уровень ее успеха. Однако в настоящее время они мало изучены, потому что, несмотря на их важность, экономисты и психологи уделяли им недостаточно внимания. Да и сами организации часто не разрабатывают «на бумаге» точных и четких способов принятия решений и планирования, хотя было доказано, что надежность маркетинговых планов увеличивается с внедрением надлежащих правил и процедур, разработанных с привлечением широкого круга экспертов (так называемых межфункциональных команд).

Управление маркетингом на предприятии – это совокупность процессов принятия управленческих решений, а также анализа, планирования, реализации и контроля программ, направленных на создание, поддержание и расширение выгодных отношений с целевыми покупателями для достижения целей компании [1].

Теория конкурентоспособной рациональности утверждает, что быстрое принятие информационных решений – абсолютное преимущество перед конкурентами. Таким образом, первый и наиболее важный вопрос – это определить, как быстро фирма изменяет стратегию и тактику. Однако, согласно анализу крупнейших компаний, только половина из них рассматривает и корректирует маркетинговые планы в течении года. В лучшем случае это может означать, что большинство рынков стабильны и в этих условиях предприятия не нуждаются в изменении поведения на рынке. В худшем случае результат опроса свидетельствует о своеобразном интеллектуальном «застое» – нежелании следовать за изменениями на рынке и отсутствии мотивации улучшать продукт производства.

Конкурентоспособность организации зависит от ее возможности быстро учиться и адаптироваться. На практике это означает, что планы могут измениться в ходе их реализации. Но такие изменения нужно тщательно продумать и обосновать. Спешная корректировка планов разрушает способность организации последовательно реализовывать какую бы то ни было стратегию. Тогда проблема заключается в том, как эффективно реализовать стратегию и одновременно сохранять чувствительность к новым факторам рынка. Процедура принятия решений и планирования, представленная на рис. 1, показывает, как эта проблема может быть решена. Она

включает два важных момента. Во-первых, непосредственное участие руководства компании (или административный отдел крупной компании) в ходе принятия маркетинговых решений. Во-вторых – постоянная корректировка решений, планов и программ. Такой анализ процесса принятия решений непосредственно соединен с динамикой конкурентоспособной рациональности. Это также отражает постоянное стремление к превосходству над конкурентами, которое является одним из основных элементов конкурентоспособной рациональности [2].

В процессе подготовки и принятия стратегических решений руководители предприятий вынуждены учитывать целый комплекс факторов, таких, как:

- особенности корпоративной миссии предприятия;
- результаты стратегического планирования;
- особенности маркетинговой стратегии предприятия;
- экологические факторы маркетинга предприятий;
- факторы внутренней маркетинговой среды предприятия.

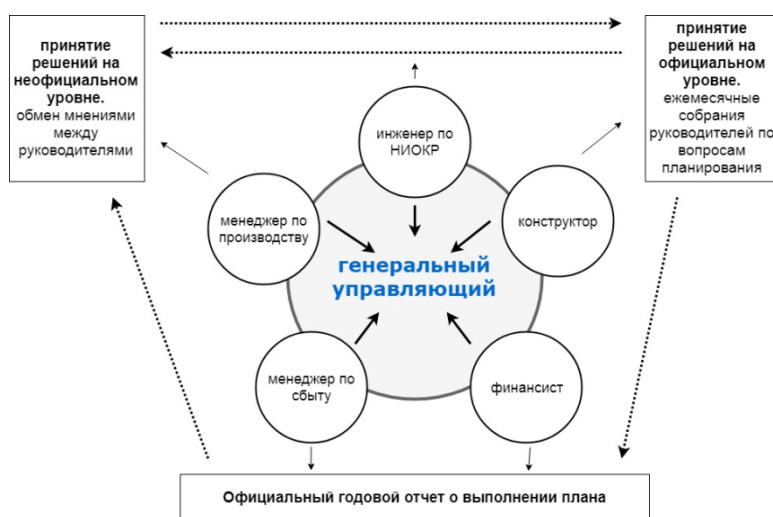


Рис. 1. Схема принятия решений и планирования

В течении года решения, принятые на неофициальном уровне, взаимодействуют с решениями, принятыми на официальном уровне (на встрече межфункциональных групп). Решения, принятые на таких встречах в течение года, обобщаются и подвергаются проверке в годовом маркетинговом плане. После оператора этот план обеспечивает основание для принятия решений на новый год.

В процедуре принятия решений руководитель производства возглавляет комитет менеджеров, состоящих из менеджеров различных отделов, который готовит функциональные планы, которые интегрированы в бизнес-план подразделения, и управляет их реализацией. Данный подход не столь радикальный, как это может показаться на первый взгляд. Высший руководящий персонал всегда привлекается в полном составе к принятию основных маркетинговых решений, таких, как долгосрочные целевые рынки, расположение товаров и оценка, в разработку этих планов всегда включались вопросы о новой продукции, связи по вертикали во время их реализации, соглашения с поставщиками и другие стратегические действия. Подготовка и принятие вышеупомянутых решений принадлежат к основным решениям маркетинговой стратегии [1].

От принятия именно маркетинговых решений, их эффективности во многом зависит успех или неудача предприятия на современном рынке, независимо от сферы его деятельности, величины, формы собственности и юридического статуса. В современном бизнесе стало намного сложнее принимать решения из-за непредсказуемости окружающей среды, инновационной деятельности конкурирующих фирм, ограниченных ресурсов, различных стратегических сюрпризов и т. д. Такие условия приводят к тому, что методы и традиционная методология принятия управленческих решений не полностью отвечают потребностям предпринимателей. Концепция управления, ориентированная на маркетинг, заменяет традиционную теорию управления, которая во многом определяет необходимость разработки концептуальной основы для принятия маркетинговых решений.

Литература

1. Диксон, П. Р. Управление маркетингом / П. Р. Диксон // Бинوم. – М., 1998. – 560 с.
2. Основные функции управления маркетингом и организационные формы их реализации – 2018. – Режим доступа: <http://uchebnik.online/osnovyi-marketinga-besplatno/osnovnyie-funktsii-upravleniya-marketingom.html>. – Дата доступа: 08.10.2018.

УДК 005.332.4:658

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ – УСЛОВИЕ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И. И. Верба, А. В. Даниленко

*Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»,*

Эффективность экономики государства в значительной мере определяется конкурентоспособностью предприятий, в частности, машиностроительных и конкретно станкостроительных. Переход к рыночной экономике не просто изменил условия хозяйствования (кстати, по-разному для различных предприятий), но и обусловил необходимость их постоянного совершенствования. Украинские производители по определенным группам технически сложных объектов потеряли рынок в своей собственной стране из-за низкой конкурентоспособности отечественной продукции в сравнении с импортной (в первую очередь, несоответствие требованиям качества и высокая стоимость). Постоянно растет количество предприятий, не способных выпускать конкурентоспособную продукцию, производственные мощности которых задействованы лишь частично, наукоемкие технологии не внедряются, в результате падает научно-технический потенциал отечественного машиностроения, а ведь машиностроение и, в первую очередь, станкостроение являются основой технического перевооружения любой отрасли промышленности.

Жесткая конкуренция с иностранными производителями выдвигает требования по реструктуризации предприятий, причем они касаются не только конструктивных и технологических особенностей производимой продукции, но и, в не меньшей мере, организации производства и управления предприятием (адаптации к новым условиям ведения бизнеса).

Вопросы теории и практики оценки конкурентоспособности предприятий широко освещаются в информационных источниках, но касаются в основном управления предприятием. Конкурентоспособность предприятия оценивается чаще всего экономистами и с точки зрения экономики и управления предприятием. Повышение конкурентных преимуществ машиностроительной продукции предлагается обеспечивать

выбором эффективных управленческих решений и моделированием, давать количественную оценку влияния отдельных управленческих факторов, а также прогнозировать показатели конкурентоспособности [1]. Как факторы, обуславливающие конкурентоспособность, называют научно-технический и производственно-технологический потенциал, профессионально-квалифицированный состав, упоминают подготовку и разработку производственных процессов, выбор оптимальной технологии производства, производственный контроль, испытания; как оценочные называют также показатели функциональной пригодности, которые характеризуют техническую сущность продукции, ее свойства, определяющие способность выполнять свои функции в заданных условиях использования по назначению [2]. Однако не стоит забывать, что реструктуризация предприятия во всех случаях основывается на выборе и разработке соответствующей конкурентоспособной продукции, т. е. на успешной работе, в первую очередь, конструкторов и технологов, хотя никто не умаляет значения деятельности управленцев, в частности, вряд ли успехом завершится создание конкурентоспособной продукции, если отсутствуют предварительные грамотные маркетинговые исследования путей обеспечения сбыта продукции, если неизвестны потребности и покупательная способность потребителей, нет анализа деятельности конкурентов, конъюнктуры рынка.

Во многих случаях как показатель конкурентоспособности и как фактор влияния рассматривается качество продукции. Для оценки качества анализируют ряд показателей, которые в принципе различаются для различных видов продукции. Необходимо при этом помнить, что ряд характеристик продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями, регламентируется стандартами – государственными либо установленными на уровне отрасли или предприятия.

Достаточно распространенными методами оценки качества являются функционально-стоимостный анализ, метод Тагути и метод структурирования функции качества (СФК). Метод Тагути [2] базируется на понятии функции потери качества, которая характеризует меру связи между качеством и потерями от его снижения. Этот метод направлен на создание устойчивых технологических и управленческих процессов системы качества, позволяющих быстро реагировать на изменение потребностей рынка и охватывать весь жизненный цикл изделия. Метод структурирования функции качества разработан доктором Мицуно (Токийский технологический институт) и заключается в формировании функции качества с помощью «голоса покупателей». Постепенно запросы покупателей воплощаются в конкретные свойства продукции. Строится объемная матрица, позволяющая соединить желаемые свойства изделия с потенциальными возможностями предприятия и конкурента. Этот метод указывает наиболее короткий путь к потребителю и снижает затраты по достижению намеченного уровня качества. Все вышеуказанное касается продукции вообще, без какой-либо конкретизации.

В мировом станкостроении произошли принципиальные изменения технические, технологические, а также организационные: при этом изменилось станочное оборудование как используемое в процессе производства, так и непосредственно производимое станкостроительным предприятием. Модульный принцип, используемый при проектировании современных станков, потребовал изменения организации производства (например, появились станкостроительные кластеры) и состава станочной продукции на рынке. Проблема обоснованного выбора необходимого станочного модуля как комплектующего для создания нового станка или модернизации уже находящегося в эксплуатации является актуальной и также требует сравнительного анализа конкурентоспособности имеющихся на рынке модульных узлов, выпускаемых разными производителями.

Методики сравнительной оценки конкурентоспособности технических систем базируются на разных подходах и принципах, но в большинстве случаев результаты их использования фрагментарные, имеют конкретное приложение, не подлежат обобщению. Очень часто используются упрощенные оценки типа показателя интегрального потребительского свойства. Распространенный вариант – создание комплексных показателей конкурентоспособности в соответствии с балльно-рейтинговым подходом и определенными критериями или количественных интегральных безразмерных показателей с одновременным учетом экспертных оценок. Достоверность сравнительной оценки конкурентоспособности как правило невысока, в частности, из-за недостаточности исходных данных и недостаточной обоснованности выбора показателей для анализа.

Для оценки конкурентоспособности сложных технических систем используют теорию принятия решений, которую можно применить в условиях риска или неопределенности. И опять-таки, несмотря на большое количество исследований в этой области, конкретных рекомендаций для технических систем очень мало, они субъективны, уже не говоря о том, что отсутствуют системные исследования взаимосвязей конкурентоспособности продукции и методов управления предприятием, влияющих на его производственную деятельность.

Затронутая тема очень масштабна, требует совместной работы инженеров-конструкторов и эксплуатационников, специалистов в области промышленной экономики и управления проектами, ИТ-специалистов, работающих с массивами данных в условиях неопределенности и имеющих представление об особенностях работы промышленных предприятий.

Литература

1. Ползунова, Н. Н. Прогнозирование показателей конкурентоспособности машиностроительной продукции на основе оценки уровня управления предприятием : автореф. дис. ... канд. экон. наук / Н. Н. Ползунова – М., 2004. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/prognozirovanie-pokazatelei-konkurentosposobnosti-mashinostroitelnoi-produktsii-na-osnove-ot#ixzz5SxladwwR>.
2. Чмышенко, Е. В. Теория и практика оценки конкурентоспособности : учеб. пособие / Е. В. Чмышенко. – 2013. – Режим доступа: http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=17005131&from=203296980.
3. Наведені матеріали розглянуті на засіданні кафедри Конструювання верстатів і машин КПП ім. І. Сікорського 19 жовтня 2018 р., протокол № 2 і рекомендовані до оприлюднення в засобах масової інформації.

УДК 339.564:630

СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПОРТНЫХ ПРОДАЖ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ В БЕЛАРУСИ И ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ИХ ЭКСПОРТА

О. В. Лапицкая, Е. Н. Карчевская

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

Древесина и изделия из нее являются важной статьей белорусского экспорта. Она представляет собой один из немногих природных ресурсов, которыми богата страна. Особую ценность этому ресурсу придает его возобновляемость, что делает его практически неисчерпаемым.

Леса в нашей стране занимают свыше 8,4 млн га и имеют запас древесины более 1,5 млрд м³ [1]. Объем ежегодных заготовок древесины достиг 15 млн м³. За по-

следние годы объемы лесозаготовок постоянно увеличиваются [2], [3]. Этого количества достаточно для удовлетворения внутренних потребностей и получения значительных валютных поступлений от ее экспорта [4].

До 2013 г. древесина из Беларуси вывозилась лесхозами в основном в виде круглого леса: пиловочник, балансы, рудстойка, фанерное бревно. Предприятия концерна «Беллесбумпром» экспортировали в основном готовые изделия: мебель, фанеру, пиломатериалы. С 2013 г. вывоз древесины в необработанном виде был запрещен как экономически невыгодный. Исключение сделано для мелкотоварной древесины, которую мы не могли переработать из-за нехватки мощностей. С 2015–2016 г. в связи с реконструкцией предприятий «Беллесбумпрома» в республике будет перерабатываться вся древесина.

Основным экспортным продуктом лесного хозяйства станут пиломатериалы. Это повысит эффективность экспорта, но и создаст трудности со сбытом, так как торговля пиломатериалами на мировом рынке преобладает над другими видами торговли древесиной. Для мирового рынка хвойных пиломатериалов традиционно характерно большое количество поставщиков и достаточно высокий уровень предложения. Согласно данным Food and Agriculture Organization of the United Nations, ежегодно в мире производится 425 млн м³ пиломатериалов.

Международная торговля пиломатериалами развивается в условиях сложившихся товаропотоков. Ведущими экспортёрами пиломатериалов в мире являются страны европейского и североамериканского регионов: Канада (20 %); Россия (16 %); Швеция (10 %); Германия (6 %), а импортёрами – страны Азии (Китай – 20 %; Япония – 6 %); Северной Африки и Ближнего Востока. При этом достаточно большая доля международной торговли пиломатериалами приходится на внутрирегиональные поставки, в том числе между европейскими странами и между Канадой и США.

В силу изложенного представляет интерес сделать анализ рынков древесины, уточнить основные экспортные потоки лесхозов Беларуси и определить наиболее рациональную логистику поставок древесины на экспорт предприятиями лесного хозяйства.

Развитие экспорта создает условия для обеспечения экономической, технологической, продовольственной и финансовой безопасности страны. Увеличение валютной выручки позволяет уменьшить давление на валютный курс и, как следствие – избежать: девальвации, инфляции, падения зарплат, уровня жизни населения. Рост экспорта способствует достижению положительной величины платежного баланса страны, а также позволяет обслуживать и погашать внешний долг страны.

ВВП Беларуси в 2013 г. составил 63,27 млрд долл. США, в 2012 г. – 64,27 млрд долл. США. Удельный вес экспорта в ВВП составил: в 2012 г. – 70,8 %; в 2013 г. – 58,5 %.

В 2013 г. лесхозами республики на экспорт отгружено 2,1 млн м³ круглых лесоматериалов и 211,3 тыс. м³ пилопродукции. В целом доходы от экспорта лесопроductии и услуг составили 144,8 млн долл. США. С каждым годом лесхозы увеличивают объемы реализации переработанной лесопроductии. В 2013 г. рост по сравнению с 2012 г. составил 110 %. При этом валютная выручка за счет роста цен на пилопродукцию увеличилась на 17,4 %. В целом по Министерству лесного хозяйства темп роста доходов от экспорта лесопроductии и услуг в 2013 г. составил 129,8 %.

Лесопроductия и услуги экспортировались в 25 стран мира. При этом 94,7 % экспорта направлено в страны дальнего зарубежья. Удельный вес экспорта лесопроductии и услуг в ВВП составил: в 2012 г. – 0,19 %; в 2013 г. – 0,23 %.

Наращивание экспорта является главным фактором роста экономики страны и каждого предприятия в том числе. Величина экспорта определяет возможности получения предприятием иностранной валюты, которая важна для модернизации производства на базе новейших технологий и видов техники, оплаты импорта тех товаров, для производства которых в Республике Беларусь нет необходимых ресурсов и благоприятных условий.

В настоящее время реализация лесоматериалов лесхозами Беларуси осуществляется УП «Беллесэкспорт», одним из важнейших для лесной отрасли предприятием, которому исполнилось 18 лет. На протяжении всего периода деятельности его главной задачей было и остается продвижение лесоматериалов и изделий их переработки на зарубежный и внутренний рынок.

Экспортная деятельность лесохозяйственных предприятий определяется максимальной реализацией на экспорт невостребованных на внутреннем рынке лесоматериалов в заготовленном виде и продукции лесопереработки. Сегодня основными потребителями белорусского мелкотоварного круглого леса являются предприятия Польши, Китая, Латвии, Литвы, Швеции, Чехии. Реализация пилопродукции в основном осуществляется потребителям Германии, Бельгии, Нидерландов. Объемы экспорта с каждым годом растут.

Наличие в отрасли единого экспортера не исключает ведение лесхозами и собственной внешнеэкономической деятельности, многие лесхозы добились в этом направлении хороших результатов, работая по прямым договорам. Но крупным игрокам лесного рынка, которым реализовывается основной объем продукции отрасли, удобнее работать с одним экспортером, который может предложить большие объемы и выступить гарантом исполнения заключенных контрактов. Среди постоянных партнеров УП «Беллесэкспорт» – такие крупные лесоперерабатывающие предприятия Европы, как SILVA Sp.z.o.o., International Paper-Kwidzyn, MONDI SWIECIE, Swedspan Polska S.z.o.o. Сотрудничество с ними позволяет поддерживать достойную цену на поставляемую продукцию.

Объем экспорта в лесхозами республики в 2012 г. составил 2038,637 тыс. м³. Основным потребителем были: Литва – 6,3 % с объемом 128 тыс. м³; Польша – 70 % с объемом 1426 тыс. м³; Швеция – 6,1 % с объемом 124 тыс. м³.

Важным моментом при организации экспорта являются условия поставок. Базисные условия поставки длительное время вырабатывались международной торговой практикой и сегодня отражены в системе Инкотермс в редакции 2000 г. В системе Инкотермс торговые термины сгруппированы в четыре различные базисные категории: E, F, C и D.

Структура экспорта лесоматериалов нашими лесхозами за последнее время значительно изменилась. Если в 2011 г. объем экспорта пиломатериалов составил 47,7 % в общем объеме поставок, то в 2012 г. объем поставок пиломатериалов составил 57 %. Это соответствует одной из главных задач Государственной программы развития лесного хозяйства Республики Беларусь и Программы развития экспорта Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь – экспортные поставки балансов с учетом уменьшения объемов мирового рынка направить в основном в Польшу, где спрос на них сохраняется на высоком уровне. Поставки в Польшу балансов и технологического сырья осуществляются на условиях DAF (Delivered at frontier). Поставки в Германию и Бельгию осуществляются на условиях FCA.

УДК 330

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е. И. Лившиц

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

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 г. одним из главных компонентов эффективного развития государства является укрепление национальной экономики. Составляющей частью успешной и конкурентоспособной экономики государства является рост промышленного производства, который обеспечивается модернизацией традиционных отраслей промышленности, созданием новых узкоспециализированных производств с высоким уровнем добавленной стоимости, внедрением инновационных и энергоэффективных технологий, использованием высококачественного сырья и материалов, созданием высокопроизводительных рабочих мест [1]. Однако успешная реализация указанных направлений развития промышленности Республики Беларусь возможна только при условии достаточности источников финансирования.

В современных условиях ведения хозяйственной деятельности предприятия постоянно сталкиваются с необходимостью реализации инвестиционных проектов. Такая необходимость может быть обусловлена различными факторами.

Во-первых, требования мирового рынка к товарам, работам, услугам постоянно и динамично меняются. Предприятие должно гибко реагировать на все изменения рынков, чтобы быть способным соответствовать таким требованиям. Некоторые рыночные изменения требуют лишь усовершенствования существующих видов продукции, другие – вызывают необходимость создавать принципиально новые производства. Как совершенствование существующего производства, так и создание нового не может быть реализовано без соответствующего финансирования.

Во-вторых, предприятия постоянно сталкиваются с износом основных производственных фондов. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, удельный вес накопленной амортизации в переоцененной стоимости основных средств предприятий Республики Беларусь на конец 2017 г. составил 49,8 % [2]. Устаревшее оборудование неспособно обеспечивать выпуск продукции, соответствующей современным требованиям. Использование устаревшего оборудования приводит к перерасходу сырья и материалов, электроэнергии и прочих ресурсов, что делает себестоимость готовой продукции более высокой по сравнению с себестоимостью готовой продукции производителей, использующих более новое оборудование и технологии. Таким образом, продукция становится неконкурентоспособной: покупатель при выборе из двух товаров с одинаковыми характеристиками отдает предпочтение товару с более низкой ценой, производитель теряет клиента.

Одним из важнейших этапов в процессе осуществления инвестиционной деятельности является обоснование объема финансирования и определение источника финансирования, которые традиционно можно разделить на собственные, заемные и привлеченные.

К собственным относят следующие источники: чистая прибыль предприятия; амортизационный фонд, складывающийся из амортизационных отчислений; резервные фонды; доходы от финансовой и инвестиционной деятельности предприятия; уставный капитал и др.

К заемным источникам относят: кредиты банков, юридических лиц, финансовых структур; кредиты государства (льготные кредиты и беспроцентные займы с государственной поддержкой); международные кредиты, а также выпуск облигаций.

К привлеченным источникам относят получение средств на безвозмездной основе: средства, выделяемые из государственного бюджета; спонсорская помощь [3].

От правильного выбора источника финансирования зависит не только развитие и функционирование инвестиционной деятельности, но также распределение конечных доходов от нее. Привлечение наиболее подходящего источника финансирования обусловит финансовую устойчивость предприятия, экономическую эффективность хозяйственной деятельности и наиболее быстрый их возможных возврат инвестированных средств. Успешная реализация инвестиционных проектов приведет к росту промышленного производства и укреплению национальной экономики в целом. Следовательно, выбор оптимального источника финансирования из всех доступных при финансировании инвестиционной деятельности является актуальной проблемой любого предприятия Республики Беларусь.

Таким образом, создание эффективной и сбалансированной экономической системы в Республике Беларусь не может быть обеспечено без инвестиционной деятельности, динамично развивающейся и соответствующей современным требованиям. Повышение инвестиционной активности и эффективности инвестиционной деятельности предприятий различных отраслей национальной экономики в настоящее время стало одной из наиболее важных проблем, решение которых необходимо для обеспечения устойчивого экономического развития государства.

Литература

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : протокол заседания Президиума Совета Министров Респ. Беларусь, 2 мая 2017 г., № 10 // М-во экономики Респ. Беларусь – 2018. – Режим доступа: http://www.economy.gov.by/ru/masgoeconomy_new-ru. – Дата доступа: 11.10.2018.
2. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2018. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 11.10.2018.
3. Гончаров, В. И. Инвестиционное проектирование : учеб. пособие / В. И. Гончаров. – Минск : Соврем. шк., 2010. – 320 с.

УДК 65.01

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М. Н. Андриянчикова

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

Республика Беларусь – экспортно-ориентированное государство с развивающейся промышленностью, сектором услуг и сельским хозяйством. Экономика Беларуси за последние 10 лет характеризуется устойчивым развитием, о чем свидетельствуют стабильное увеличение ВВП и повышение уровня жизни населения страны. Однако в последние годы наблюдается низкий уровень эффективности деятельности предприятий промышленности. На протяжении 2010–2016 гг. рентабельность продаж промышленной продукции Республики Беларусь колеблется от 6 до 11 % (рис. 1), что недостаточно для расширенного воспроизводства, разработки и внедрения инновационной и производства конкурентоспособной продукции.

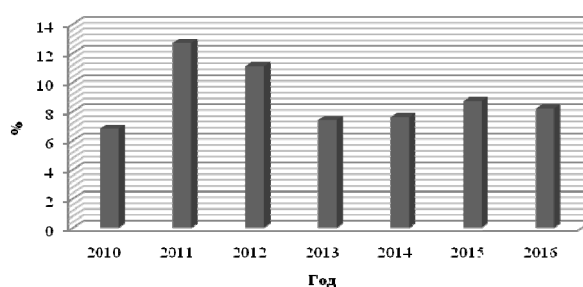


Рис. 1. Рентабельность продаж промышленности Республики Беларусь [1, с. 271]

В основе эффективного или неэффективного функционирования любого предприятия лежит величина и качественная составляющая человеческого потенциала, который выступает как основной элемент экономического роста. По данным Всемирного банка, в развитых странах человеческий капитал как экономическое выражение человеческого потенциала страны составляет от 68 до 76 % всего национального богатства [2]. Таким образом, можно сказать, что в основе экономического развития промышленности Республики Беларусь лежит сбалансированная система количественных и качественных характеристик развития работников предприятия. Достижение устойчивого экономического роста страны возможно только на основе инвестирования в человеческий капитал – в образование. Следует отметить, что на современном этапе развития мировой и отечественной экономики, связанном с переходом к постиндустриальной фазе развития, человеческий капитал является ведущим фактором производства и экономического роста по сравнению с финансовыми и природными ресурсами, и его формирование в развитых странах идет опережающими темпами. Именно человеческий капитал является сегодня показателем конкурентоспособности как страны в целом, так и каждого предприятия в отдельности [2].

Республика Беларусь оказалась не готова к необходимым преобразованиям в экономике. Основным препятствием к ее внедрению является разрыв между практикой и теорией управления. Современная экономика характеризуется стремительным развитием новых сфер и изменением технологических процессов производства, что приводит к появлению новых требований к работникам предприятия, его знаниям, компетенциям и профессиональным навыкам.

Основой человеческого потенциала является образование. Качество предоставляемых образовательных услуг напрямую зависит от материальной и финансовой составляющей. Однако за последние четыре года наблюдается сокращение расходов на образование в номинальном выражении. В 2018 г. удельный вес расходов на образование ниже на 3,59 % в сравнении с 2015 г. (рис. 2).

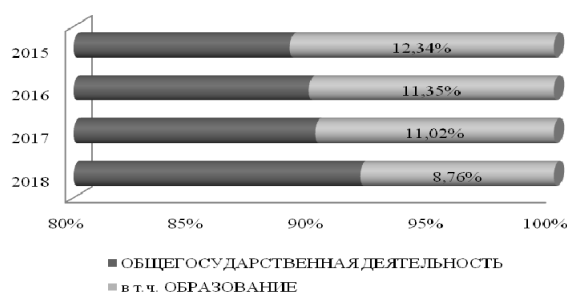


Рис. 2. Удельный вес расходов бюджета Республики Беларусь по разделу «Образование» в общей структуре расходов [3]–[6]

Современная модель развития экономики требует создания новых механизмов финансирования и развития научных и образовательных учреждений. Подготовка кадрового потенциала должна быть в тесном взаимодействии с производственной сферой. Сфера производства должна принимать активное участие в профессиональной подготовке специалистов.

Таким образом, в условиях ограниченности сырьевых ресурсов необходима переориентация экономики в направлении возобновляемых возможностей человеческих ресурсов. Выдвижение человеческого капитала на первый план приводит к необходимости разработке новой интеграционной модели взаимодействия «государство–образование–наука–производство», позволяющей объединить сферу производство с научными и исследовательскими учреждениями при государственной поддержке.

Литература

1. Республика Беларусь = Republic of Belarus : стат. ежегодник, 2017 / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева (пред.) [и др.]. – Минск, 2017. – 506 с.
2. Мудрецов, А. Ф. Человеческий потенциал устойчивого развития // Экономика народонаселения и демография. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/chelovecheskiy-potentsial-ustoychivogo-razvitiya>.
3. О республиканском бюджете на 2018 год : Закон Респ. Беларусь от 31 дек. 2017 г. № 86-3 / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 05.01.2018 г., 2/2524. – Режим доступа: http://www.minfin.gov.by/upload/bp/act/zakon_-311217_86z.pdf.
4. О республиканском бюджете на 2017 год : Закон Респ. Беларусь от 18 окт. 2016 г. № 431-3 / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 26.10.2016 г., 2/2429. – Режим доступа: http://www.minfin.gov.by/upload/bp/act/zakon_181016_431z.pdf.
5. О республиканском бюджете на 2016 год : Закон Респ. Беларусь от 30 дек. 2015 г. № 341-3 / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 01.01.2016 г., 2/2341. – Режим доступа: http://www.minfin.gov.by/upload/bp/act/zakon_301215_341z.pdf.
6. О республиканском бюджете на 2015 год : Закон Респ. Беларусь от 30 дек. 2014 г. № 225-3 / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 03.01.2015 г., 2/2223. – Режим доступа: http://www.minfin.gov.by/upload/bp/act/zakon_301214_225z.pdf.

УДК 339.138

ПРОДВИЖЕНИЕ ПРОДУКЦИИ БЕЛОРУССКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»)

В. В. Кудравец

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

Современный маркетинг немислим без цифровых платформ, ведь большинство информационных каналов на сегодняшний день так или иначе связаны с глобальной компьютерной сетью – с интернетом. Поскольку человечество стало активно использовать интернет-технологии для отдыха, работы и получения информации, то предприятиям пришлось последовать за своими потребителями в новую информационную среду. Именно поэтому интернет-маркетинг превратился в один из самых эффективных способов продвижения продукции [1].

Цель работы – на основании исследования сущности современных методов продвижения продукции с использованием интернет-ресурсов и анализа деятельности ОАО «Гомсельмаш» сформулировать комплекс предложений в сфере продвижения продукции предприятия. Актуальность проведенного анализа выражается в том,

что ОАО «Гомсельмаш» является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники, а также важность изучения SMM выражается в постоянном повышении популярности данного метода продвижения [2, с. 236–239].

В ходе данной работы были тщательно проанализированы аккаунты ОАО «Гомсельмаш» в таких социальных сетях, как Вконтакте, Фейсбук и Инстаграм, официальный сайт и качество управления маркетинговой деятельностью на данном предприятии. Использовались методы сравнительного, вертикального и горизонтального анализа. Вследствие этого было выявлено, что наиболее эффективной формой рекламы для ОАО «Гомсельмаш» является участие в специализированных выставках и разнообразная интернет-реклама. Эффективность интернет-рекламы ОАО «Гомсельмаш» представлена на рис. 1.

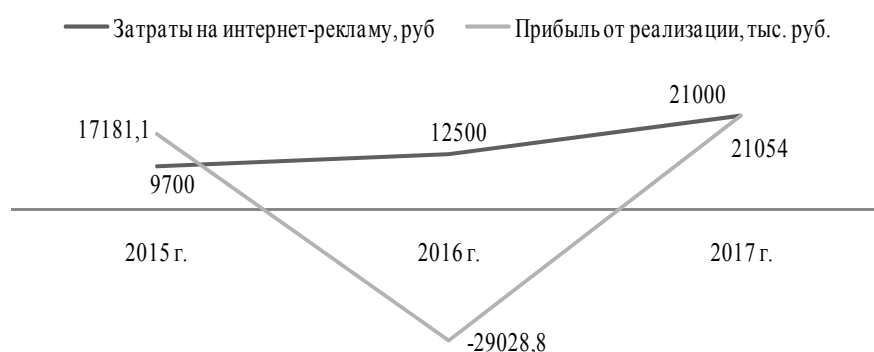


Рис. 1. Эффективность интернет-рекламы ОАО «Гомсельмаш»
Примечание. Разработано автором на основе отчетности предприятия.

Исходя из рис. 1, видно, что в 2016 г. интернет-реклама была неэффективной, так как предприятие сработало с убытками, но в 2017 г. эффективность интернет-рекламы подтверждена прибылью от реализации в размере 21054 тыс. р.

ОАО «Гомсельмаш» имеет свой сайт, на котором можно ознакомиться с продукцией предприятия, сервисной программой, узнать историю развития предприятия, проводимые акции, контактные данные и т. д. При проведении анализа статистики сайта с помощью инструментов поисковых систем было выявлено, что количество просмотров больше, чем количество посетителей, притом этот показатель варьируется неодинаково за 2017 г. Это говорит о недостаточном проявлении интереса посетителей к данному виду продукции, поэтому для большего привлечения возможно расширить контент ссылок на сайт ОАО «Гомсельмаш». Основными странами, интересующися данным видом продукции являются в основном Россия (33,3 %) и Беларусь (29,5 %), также они – основные рынки сбыта ОАО «Гомсельмаш», поэтому недостаток сайта рассматриваемого предприятия – малое количество посетителей стран Дальнего Зарубежья.

При анализе аккаунтов и страничек в социальных сетях ОАО «Гомсельмаш» были выявлены следующие недостатки:

- низкая активность администраторов вследствие отсутствия четкого определения обязанностей работников в рамках использования инструментов маркетинга в социальных сетях;

- отсутствие практики использования инструментов маркетинга социальных сетей в рамках продвижения группы, повышения уровня пользовательской активности и привлечения новых подписчиков;

– необходимость регулярности работы с социальными сетями;
– исследуемые социальные сети имеют слишком «молодую» аудиторию;
– малое количество записей в сети «Instagram»;
– небольшая активность пользователей (лайки, репосты, комментарии, количество подписчиков) в социальной сети «Facebook».

Чтобы исправить выявленные недостатки, можно предложить ОАО «Гомсельмаш» реализовать следующие мероприятия:

1. Увеличение объемов реализации путем использования инструментов таргетинга в социальных сетях «ВКонтакте» и «Facebook».

2. Увеличение объемов сбыта путем использования сервиса «Товары» социальной сети «ВКонтакте» [3, с. 150–158].

3. Повышение эффективности использования маркетинговых инструментов социальных сетей путем введения должности специалиста по рекламе.

4. Продвижение сайта с целью выхода на внешние рынки для получения дополнительной выручки.

5. Баннерная реклама в интернете с целью улучшения коммуникационной политики предприятия и получения выручки.

Все предложенные мероприятия имеют экономическое обоснование и поэтому могут быть рекомендуемы к реализации, так как они нацелены на совершенствование процесса продвижения продукции с использованием интернет-ресурсов ОАО «Гомсельмаш», а также на улучшение процесса управления и контроля маркетинга в данной сфере. Следует отметить, что данные проекты прогнозируют увеличение прибыли ОАО «Гомсельмаш», и это является положительным эффектом как для самого предприятия, так и для экономики Республики Беларусь в целом.

Литература

1. Горбунова, М. А. Всемирная паутина как инструмент маркетинговых коммуникаций в современных компаниях / М. А. Горбунова // *Вопр. экономики и упр.* – 2015. – № 2. – С. 68–70.
2. Котлер, Ф. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс / Ф. Котлер ; пер. с англ. под ред. С. Г. Божук. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 464 с.
3. Халилов, Д. Маркетинг в социальных сетях / Д. Халилов. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 240 с.

УДК 330

КРИПТОВАЛЮТА В БЕЛАРУСИ

В. В. Щуплов¹, Н. С. Щуплова²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

²Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Криптовалюта является новой экономической категорией. Bitcoin признан законным финансовым инструментом во многих высокоразвитых странах. Общее число криптовалют в мире на май 2015 г. превысило 2000. В таблице приведены некоторые криптовалюты по состоянию на май 2018 г., обладающие наибольшей капитализацией [1], а на рис. 1 приведен рост числа биткойнов с течением времени: с 2009 по 2031 гг.

Криптовалюта по состоянию на май 2018 г.

Запуск	Статус	Наименование	Основатель	Дополнительно
2009 г.	Активна	Bitcoin	Сатоши Накамото	Первая и самая популярная криптовалюта с наибольшей рыночной капитализацией
2017 г.	Активна	Bitcoin Cash		Отделилась от Bitcoin
2011 г.	Активна	Litecoin	Charles Lee	Первая криптовалюта, использующая Scrypt в качестве хеш-функции
2014 г.	Активна	Stellar	Джед МакКаллеб, Джойс Ким	Платформа для валютных операций в режиме реального времени
2018 г.	Активна	Cardano	Charles Hoskinson, Jeremy Wood	—
2014 г.	Активна	Monero	Monero Core Team	На основе протокола CryptoNjnt ориентированная на повышенную анонимность

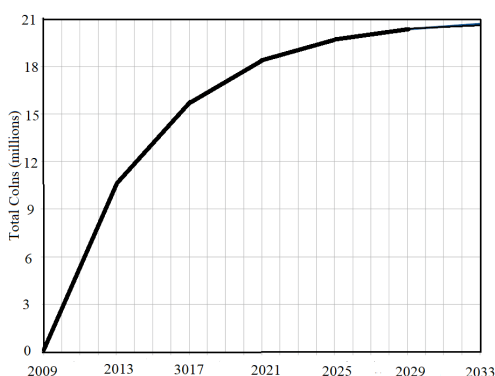


Рис. 1. Количество биткойнов с течением времени

Сам по себе биткойн отражает новые технологические идеи, не имеющие на сегодняшний день каких-либо значимых аналогов. Любому технологическим новинкам требуется время для того, чтобы завоевать умы и сердца простых потребителей, сформировать под собой необходимые экономические и юридические предпосылки своего развития.

Правовой режим криптовалют в значительной степени варьируется от страны к стране и по-прежнему остается неопределенным или меняющимся во многих из них. С 28 марта 2018 г. в Беларуси вступил в действие Декрет № 8 «О развитии цифровой экономики». Этот Декрет легализует процедуру майнинга и официально признает криптовалюты активами.

Предполагается, что, если криптовалюта является достаточно популярной и выполняет функцию денег в широком смысле (есть возможность что-то приобрести), в международном обороте (т. е. минимум 2 государства), то она будет подпадать под определение «криптовалюта» согласно белорусскому законодательству.

С вступлением в силу Декрета майнить криптовалюту могут как частные, так и юридические лица. Для юридических лиц возникнут вопросы с отнесением на затраты и учетом полученных криптовалют на балансе предприятия.

Основываясь на технологии «блокчейн», криптовалюты обеспечивают быстроту расчетов, их анонимность и высокий уровень доверия к проведению денежной транзакции, исходя из того, что ее функционирование поддерживают и контролируют одновременно многие участники.

Инструмент, посредством которого происходит добыча криптовалют, – майнинг-фермы, сегодня активно создающиеся. Кроме того, в Беларуси развивается идея создать по всему миру сеть терминалов, которые позволяют использовать криптовалюты в качестве расчетного средства. *Эта идея реализуется* в проекте *сопрау*, который основали несколько белорусских предпринимателей.

Учитывая темпы развития цифровизации, доминирующим фактором по ускорению инновационных процессов в экономике являются знания. Для разработки, настройки и обслуживания инфраструктуры по внедрению криптовалюты в Республике Беларусь надо иметь соответствующие кадры. Эти кадры должны внедрять в жизнь новые идеи, направления, проекты и технологии с учетом развития применения криптовалют в республике. Для этого необходимо так изменить учебные программы и планы подготовки специалистов, чтобы за счет сокращения времени изучения дисциплин и разделов, дающих знания, не используемые в реальной экономике, тратить его на приобретение компетенций, требуемых сейчас и в ближайшем будущем в цифровой экономике.

Сегодня в БНТУ в рамках программы переподготовки по специальности «Операции с ценными бумагами» всех желающих обещают научить работе с криптовалютами, а точнее: операциям с криптовалютами, операциям с фьючерсами криптовалют и использованию технологии «блокчейн». Необходимо и другим высшим учебным заведениям Беларуси активно подключаться к подготовке специалистов по работе с криптовалютой.

Литература

1 Криптовалюта. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Криптовалюта>. – Дата доступа: 10.10.2018.

УДК 658.5

IMPROVING THE PRODUCTION STRUCTURE OF THE ENTERPRISE TAKING INTO ACCOUNT ORGANIZATIONAL CHANGES

N. V. Parkhomenko, A. O. Zhevnova

Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, Republic of Belarus

The relevance of the chosen topic is that a necessary condition for improving economic efficiency and the development of any enterprise is a well-built production structure. To create and maintain a sufficient level of organization of production, we need a well-developed, optimized production structure of the enterprise, which is the basis for the successful activity of the enterprise.

The basis of an effective production structure is based on the following principles:

1) the principle of subordination of private interests to the interests of a whole: it is necessary to create a structure within the enterprise, if it will contribute to increasing the overall efficiency of its functioning, without contradicting its strategic interests;

2) the principle of proportionality: should follow a clear quantitative relationship between the various elements and areas of production;

3) the principle of concentration: it is desirable to concentrate the production of one or more similar species in large organizations;

4) the principle of specialization: for each production should be limited to the manufacture of a certain type of homogeneous products;

5) the principle of cooperation: there should be a system of relations between the individual departments of the enterprise, workshops, teams and individual workplaces;

6) the principle of maneuverability: if necessary, it should be possible for the rapid restructuring of production processes in the enterprise as a whole or in its individual sections;

7) the principle of preventiveness: with the help of operational production management, preventive maintenance, planning of material flow balances should be prevented deviations in the production process;

8) the principle of controllability: every action, element of production and structure should be manageable and controlled.

The Euro-Locks plant in Ruda Śląska, which is a leading manufacturer of locking systems supplied to customers throughout Poland, Russia and the countries of the former USSR, was selected as the object of analysis of the production structure. It produces a wide range of mechanical locks, as well as many non-standard products.

The company is part of the Lowe & Fletcher group of companies, which has been manufacturing lockind systems since 1889. The group includes branches in the UK, Belgium, France, Germany and the USA. All of them are modern, technologically advanced enterprises, serving both local markets and global activities of the company.

The company is currently in the process of expansion and, as a result, construction, as well as an increase in the production cycle to full. In accordance with the already designed model of several new buildings, the placement of workplaces, equipment, shelves for storing components and finished products is optimized. It was necessary to draw up a final plan on the basis of the layout developed by the production manager and to improve it, preferably by increasing the number of pallets for each of the production stages and organizing additional workplaces.

The new building will include such production stages as beginning assembly, manufacture of Westfalia and Renz locks, final assembly, key cutting, including cutting on the new equipment of the MLM group, as well as packaging of finished products for further sale in Poland and for export. The main difference of the new technology from the base is the launch of its own electroplating line, allowing to carry out coatings of trivalent chromium (Cr³⁺), meeting the requirements for environmental protection, as well as launching production of key blanks with a profile groove, for which the purchase of the MLM group is required.

In addition to jobs and equipment, it was necessary to place three-storey pallets in the room for storing spare parts and finished products for each of the departments. They needed to be placed in such a way that the pallets were relatively close to the department to which they directly belong. Their number for all production shops separately is presented in table.

Distribution of pallets in accordance with the production departments

Department	Quantity of pallets before the construction process	Quantity of pallets, Dawid's variant	Quantity of pallets, my variant
Beginning assembly	91	126	111
New department MLM	–	36	30
Department of cutting the keys	27	36	33
Westfalia & Renz	55	75	96

Окончание

Department	Quantity of pallets before the construction process	Quantity of pallets, Dawid's variant	Quantity of pallets, my variant
Final assembly	42	96	72
Package	217+3	252	276
Total	435	621	618

The projected version of the production structure of the enterprise, we created with the following requirements:

– the number of pallets on the final version of the plan should be no less than that available prior to the start of construction (in the developed version it increased by almost 25 %);

– the width of the corridors between departments and corridors leading to the three exits from the premises should be at least 2,5 meters, and the departments and lines should be located block by block. This requirement must be met, since the average weight of the boxes varies from 7 to 25 kg, and women's labor is used predominantly in production. For this reason, there is a need to use loaders, the width of which should be taken into account when determining the width of the corridors;

– the distance between the workplaces of installers, sitting back-to-back, must be at least one meter, and the width of the passage between them must be at least one and a half meters;

– the distance of 1-1,5 meters is preserved between workplaces and small equipment, except for cases with pallets;

– equipment for laser marking should be located in the center of the workplace unit at the initial installation;

– there must be a certain number of additional jobs in the reserve, 8–10 in each of the large departments (as the enterprise expands and installation work will be hired besides those already working).

The final version of the developed plan was presented to the management of the enterprise, approved for further implementation. Upon completion of construction, jobs, equipment and pallets will be placed in accordance with the plan described above.

Thus, the production structure proposed by us will allow the enterprise to increase its economic efficiency and the level of organization of production, and, as a result, reduce the time spent on production, increase the level of rhythm, concentration, specialization, cooperation and production location.

УДК 338.43

**ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ В ОРГАНИЗАЦИЯХ
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Е. А. Кожевников, Р. В. Асвинов

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

Организации нефтегазодобывающего комплекса Республики Беларусь функционируют в условиях постоянно продолжающейся и обостряющейся международной конкуренции. Рынок нефти и газа, несмотря на усилия организаций стран-

экспортеров нефти ОПЕК, других международных координирующих структур остается наиболее волотильным и непредсказуемым.

Экономическая, в частности, ценовая политика органов управления Республики Беларусь, наоборот, постоянно нацелена на стабильность и предсказуемость. В этом же направлении прилагаются значительные усилия для координации взаимодействия с Российской Федерацией как основным поставщиком нефти и газа в Беларусь. Дополнительным и очень важным источником стабильности в этой сфере должно стать взаимодействие в рамках Евразийского экономического союза. Тем не менее, волотильность на рынке нефти и газа в Беларуси все равно остается постоянно действующим фактором на обозримую перспективу.

В этих условиях организации нефтегазодобывающего комплекса Республики Беларусь могут сохранять или увеличивать свои доходы только одним магистральным путем – через снижение затрат, издержек по нефтегазодобыче.

Ключевым признаком нефтегазодобывающей организации является наличие особого фактора производства. Этот фактор – предмет труда – очень специфичен. Он представляет собой пласт, содержащий нефть и газ. В таких условиях эти виды сырья не имеют в теоретико-экономическом смысле стоимости, являясь «бесплатным» даром природы. Поэтому в планировании и анализе затраты на нефть и газ, содержащиеся в пластах, не учитываются, а значит отсутствуют указанные затраты на сырье, соответствующего элемента в себестоимости добытой нефти и газа, нет обычных для предприятий обрабатывающих отраслей элементов оборотных средств.

Еще более важным с точки зрения анализа и снижения затрат является тот факт, что ключевыми характеристиками сырья являются не наличие или количество нефти и газа в пластах, а, например, пластовое давление, глубина залегания, пространственные параметры пласта и др. Наряду с такими особенностями предмета труда нефтегазодобывающей организации, как жесткая территориальная закреплённость и удаленность, это значительно затрудняет анализ и поиск путей снижения затрат.

Отсутствие в составе затрат как по экономическим элементам, так по статьям калькуляции основного, главного предмета труда не отменяет, а наоборот, фактически определяет уровень затрат по практически всем элементам, за исключением, пожалуй, налоговой составляющей. Постоянное ухудшение условий добычи нефти и газа в Беларуси, проявляющееся в падении пластового давления на действующих скважинах, увеличении глубины залегания на новых скважинах, росте удаленности перспективных нефтегазовых месторождений и другие объективные факторы однозначно увеличивают и материальные, и трудовые затраты, и расходы на основные средства. Таким образом, возникает проблема анализа, оценки и корректного расчета оптимальных величин плановых и отчетных материальных, трудовых затрат и затрат по основным средствам, обусловленных сугубо объективными природно-технологическими факторами нефтегазодобычи. От решения этой проблемы зависит как оценка объективных возможностей снижения затрат в конкретной нефтегазодобывающей организации, так и экономическая эффективность функционирования такой организации в целом.

Анализ затрат по добыче нефти и газа проводился нами на примере Нефтегазодобывающего управления «Речицанефть» республиканского унитарного предприятия «Производственное объединение «Белоруснефть». Как известно, «Белоруснефть» ведет добычу нефти и газа на 61 месторождении в Республике Беларусь; 13 – в Венесуэле; 1 – в Эквадоре; 5 – в Российской Федерации. Объем добычи нефти составил в 2017 г. 1 млн 650 тыс. т, а по плану 2018 г. должен быть обеспечен на уровне 1 млн 670 тыс. т.

Анализ затрат по НГДУ «Речицанефть» позволяет констатировать следующее:

1. Волотильность и непредсказуемость мировых рынков нефти и газа определяет ключевую роль снижения затрат в обеспечении экономической эффективности и прибыльности функционирования организаций нефтегазодобывающей отрасли.

2. Координирующее взаимодействие Республики Беларусь с Российской Федерацией, Евразийским экономическим союзом следует продолжать, в частности, для обеспечения стабильности функционирования и развития организаций нефтегазодобывающего комплекса Беларуси.

3. Анализ затрат на добычу нефти и газа по факторам производства специфичен и затруднен как в сравнении с обрабатывающими предприятиями, так и в сравнении с добывающими организациями других отраслей.

4. Снижение затрат по добыче нефти и газа должно сопровождаться оптимальными расходами на бурение нефтяных и газовых скважин, специальные научно-исследовательские работы по анализу пластов и скважин, на текущие и капитальные подземные ремонты скважин и т. д.

5. Следует обстоятельно, системно и научно-методически обоснованно планировать и анализировать объективно необходимые и возможные с точки зрения экономической окупаемости параметры роста отдельных видов трудовых, капитальных и текущих материальных затрат, вызванных исключительно природно-геологическими и ценовыми экономическими факторами.

Только так можно обеспечить снижение в целом затрат по добыче нефти и газа не только в краткосрочном периоде, но и на долгие годы вперед.

УДК 654.93

РОБОТИЗИРОВАННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ СЛУЖАЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

С. Е. Астраханцев

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

В современных организациях выполняется огромное количество бизнес-процессов, как производственных, связанных с изготовлением продукции (работ, услуг), так и процессов управления, выполняемых специалистами, и необходимых для реализации функций снабжения, сбыта, финансирования, учета и контроля.

Автоматизация рутинных, повторяющихся процессов управления позволит уменьшить издержки и высвободить человеческие ресурсы для решения более важных производственных задач.

На зарубежных рынках появилась трехбуквенная концепция Robotic Process Automation (RPA) – новая технология автоматизации бизнес-процессов, базирующаяся на использовании программных роботов и искусственного интеллекта.

Концепция RPA – это отход от традиционных форм интеграции, которая исторически основана на интерфейсах прикладного программирования (или API) – «машина–машина», работающих в обход интерфейсов. Она позволяет дать инструмент бизнес-пользователю для снижения его загрузки рутинными задачами, уменьшает загрузку ИТ-специалистов, позволяет повысить эффективность, качество и экономичность. Программный робот имеет свое собственное виртуальное рабочее место, почти как человек-работник, при этом робот использует клавиатуру и мышь для внесения данных и перемещения по экранным формам. При этом все эти действия про-

исходят в виртуальной среде, ведь программному роботу не нужен физический экран, чтобы управлять, – он работает на виртуальном экране в электронном виде.

Программные роботы настраиваются для выполнения действия идентично обычному пользователю, используя демонстративные шаги (обучение), а не программируется программистами с помощью кода на основе инструкции, и это является особенностью рынка RPA, который не пытается представить другую платформу для кодирования [1].

Ключевой функционал RPA предназначен для бизнес-пользователей, не имеющих технической подготовки, которые смогут интуитивно понятным способом быстро «обучить» (или настроить) программного робота, так же как пользователь может обучить своего нового коллегу. При этом многие платформы RPA предоставляют возможность нарисовать схему, например, в MS Visio, а необходимые действия создаются в виде графических элементов путем перетаскивания, удаления и связывания объектов, представляющих этапы процесса.

При внедрении RPA не нужно изменять существующие ИТ-системы, проще автоматизировать работу с интерфейсом, и именно поэтому проекты RPA не требуют дорогостоящих ИТ-навыков и инвестиции в новые платформы.

Сотрудники крупнейшей консалтинговой компании PWC провели подсчеты и пришли к выводу, что в любом крупном бизнесе, независимо от рода деятельности при помощи RPA, т. е. роботизации бизнес-процессов, можно автоматизировать почти половину процессов служащих.

Возможности применения RPA разнообразны. RPA – это интегрированное программное обеспечение, которое способно обслуживать все отделы бизнеса – от бухгалтерии до отдела кадров. Уникальных свойств у RPA достаточно, и все они экономят не только время сотрудников, но и деньги работодателей, так как роботы лишены любых бытовых нужд. Еще одна важная деталь: RPA в отличие от многих других технологий не изменяет уже созданную ИТ-структуру компании, она только взаимодействует с уже существующими программами, помогая пользователям улучшить их производительность. Если понадобится вернуться к старой модели работы, можно просто отключить RPA, а не перенастраивать всю ИТ-систему. Это существенное отличие RPA от программных продуктов, автоматизирующих бизнес-процессы, потому что робот может взаимодействовать одновременно с уже установленными в компании разными пользовательскими разработками. Проще говоря, RPA запускает процесс, в котором одна программа общается с другой, имитируя действия пользователя: набор текста на клавиатуре, движения курсора, клики кнопкой компьютерной мыши, перенос данных и др.

Консалтинговая компания Deloitte опубликовала исследование [2], которое показывает, насколько организации готовы внедрять технологию RPA.

Основные результаты опроса Global RPO в Deloitte:

– 53 % респондентов уже начали свое путешествие в RPA. Ожидается, что в ближайшие два года этот показатель возрастет до 72 %. Если это будет продолжаться на нынешнем уровне, RPA достигнет почти всеобщего усыновления в течение следующих пяти лет;

– преимущества внедрения RPA значительны. Окупаемость была зарегистрирована менее чем за 12 месяцев, в среднем – 20 % от полной занятости (FTE), предоставляемой роботами. RPA продолжает удовлетворять и превосходить ожидания по многим параметрам, включая: улучшение соответствия (92 %); улучшенное качество/точность (90 %); повышение производительности (86 %); снижение затрат (59 %);

– 78 % из тех, кто уже внедрил RPA, ожидают значительного увеличения инвестиций в RPA в течение следующих трех лет, однако масштабирование RPA явно оказывается более сложным, чем ожидалось: только 3 % организаций увеличили численность своих сотрудников.

Какое будущее ждет RPA? В исследовании [3] проведен анализ глобального рынка RPA, который показал:

- в 2016 г. объем рынка составил \$271 млн;
- 100–150 % составил прирост мирового объема внедрений RPA в 2017 г.;
- более 70 % крупных международных компаний уже применяют технологии RPA;
- увеличение количества поисковых запросов в 2,5 раза за 5 лет;
- к 2021 г. рынок может вырасти до \$3 млрд;
- ключевыми факторами роста будут обеспечиваться тем, что RPA-системы развиваются и адаптируются под большинство корпоративных процессов, и синергия RPA-систем и искусственного интеллекта позволит влиять на процессы принятия управленческих решений.

В чем недостатки RPA? Главный недостаток RPA в том, что технология – пока «сырая». Прежде чем запустить RPA в работу крупных предприятий, необходимо продумать и выстроить всю модель взаимосвязи роботов. Еще один недостаток, который пугает многих – внедрение RPA в бизнес-процессы может существенно сократить рабочие места, но производители RPA смотрят на это иначе. Они считают, что их разработка не сократит рабочие места, а освободит людей от неприятного монотонного труда, даст возможность заниматься более продуктивными делами.

Л и т е р а т у р а

1. Роботизированная автоматизация процессов / Компания NFP. – Режим доступа: <https://nfp2b.ru/directions/rpa/>.
2. Опрос Globalo RPO Deloitte. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/bg/en/pages/technology/articles/deloitte-global-rpa-survey-2018.html>.
3. Robotic Process Automation (RPA). – Режим доступа <http://softline.ru/blog/robotic-process-automation-rpa>.

УДК 658

МЕНЕДЖМЕНТ РИСКОВ В УЧРЕЖДЕНИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Н. В. Пархоменко, А. В. Сычев, Т. А. Шевелева

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

В настоящее время система менеджмента качества (СМК) в учреждениях высшего образования (УВО) является важным инструментом обеспечения качества обучения. СМК позволяет отслеживать и анализировать индикаторы результативности деятельности УВО, а также своевременно принимать управляющие действия по улучшению основных и вспомогательных процессов.

Важным фактором формирования позитивного имиджа университета является сертификация СМК на соответствие требованиям государственного стандарта Республики Беларусь СТБ ISO 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования», а также международным стандартам. Наиболее существенными изменениями в обновленном стандарте являются внедрение в практику управления УВО основных положений и принципов риск-менеджмента.

Сфера высшего профессионального образования – достаточно специфическая область. Управление рисками в учебных заведениях значительно отличается от управления рисками на промышленных предприятиях и в коммерческих компаниях, где риск-менеджмент хорошо методически проработан [2]. В связи с этим УВО разрабатывают собственные нормативные документы по реализации риск-менеджмента. При этом необходимо учитывать, что система управления учебными и вспомогательными процессами, а также качественными показателями должна рассматриваться на трех уровнях: университет–факультет–кафедра, а система управления рисками должна соответствовать иерархии управления УВО и управление рисками должно осуществляться на каждом из них.

Цель данной работы – разработка системы управления рисками для учреждения высшего образования в соответствии с требованиями международных стандартов. Авторами разработана такая система для УВО «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», основные положения которой оформлены в виде документированной процедуры «Управление рисками» в документации СМК университета, и в которой определены механизмы выявления и идентификации возможных рисков, анализа и числового оценивания рисков с последующей обработкой (меры контроля).

Идентификация рисков осуществляется на всех уровнях университета в соответствии с рекомендациями [1]:

- представителем руководства, ответственным за СМК, при проведении анализа СМК со стороны руководства, информации о внешней среде, рекламаций и жалоб потребителей;
- владельцами процессов при осуществлении текущего контроля процессов, подведении итогов мониторинга и измерения процессов;
- руководителями структурных подразделений при анализе запросов потребителей и требований заинтересованных сторон, подведении итогов мониторинга процессов на уровне подразделений;
- руководителями команд по внутреннему аудиту при подведении итогов внутренних аудитов.

Результаты идентификации рисков оформляются в виде паспортов рисков, которые составляются владельцами процессов с привязкой к структурным подразделениям и целевым показателям. В паспорте рисков процесса указываются: наименование риска, его причины возникновения или источники и вероятные последствия.

Следующим этапом обработки рисков является их числовая оценка. При этом методом экспертных оценок определяется вероятность возникновения каждого риска и тяжесть последствий его возникновения. Оценка обоих показателей производится экспертами по пятибалльной шкале. После этого вычисляется результирующая оценка риска (приоритетное число риска) путем перемножения вероятности наступления риска и степени тяжести его последствий. По итогам оценки рисков руководитель структурного подразделения составляет документ «Реестр рисков процессов», в который включаются риски с высоким (8–16 баллов) и критическим (20–25 баллов) уровнем опасности. Реестр рисков структурного подразделения согласовывается владельцами процессов.

На основании реестров рисков процессов владельцами процессов (ректор и проректоры) и руководителями структурных подразделений (деканы факультетов, заведующие кафедрами, руководители служб) разрабатываются планы мероприятий по снижению рисков по каждому процессу для реализации на всех уровнях управления. Реализацию плана мероприятий по снижению рисков осуществляют должност-

ные лица и сотрудники, ответственные за выполнение мероприятий в соответствии с установленными сроками.

Результаты выполнения плана мероприятий по снижению рисков ежегодно рассматриваются на заседаниях Советов факультетов, отчет о выполнении плана предоставляется в сектор менеджмента качества, а сводные результаты выполнения планов мероприятий представляются в отчете по анализу СМК.

Мониторинг и управление рисками – процесс отслеживания идентифицированных рисков, идентификации новых рисков, исполнения планов реагирования на риски и оценки их эффективности на протяжении жизненного цикла проекта.

Мониторинг рисков показателей результативности процессов на уровне университета осуществляется специалистами сектора менеджмента качества, а на уровне структурных подразделений – руководителями команд при проведении внутренних аудитов.

После выполнения планов мероприятий по предупреждению рисков руководители подразделений проводят анализ их результативности путем перерасчета приоритетного числа риска.

Результативными считаются мероприятия, снизившие приоритетное число до уровня допустимого. Если же все мероприятия выполнены, а приоритетное число не снижено, владельцы процессов и руководители подразделений планируют новые мероприятия.

Записи результатов выполнения мероприятий и повторная оценка рисков фиксируются в плане мероприятий по снижению рисков с указанием новых рекомендуемых предложений по улучшению.

Таким образом, предложенная система управления рисками в УВО соответствует требованиям национальных и международных стандартов качества, обеспечивает вовлеченность всего персонала на всех уровнях управления в деятельность по предупреждению рисков и управления качеством в УВО.

Литература:

1. Васильков, Ю. В. Риски менеджмента и менеджмент рисков : монография / Ю. В. Васильков, Л. С. Гущина. – Ярославль : Издат. дом Н. П. Пастухова, 2011. – 256 с.
2. Щеглов, П. Е. Качество высшего образования. Риски при подготовке специалистов / П. Е. Щеглов, Н. М. Никитина // Унив. упр.: практика и анализ. – 2003. – № 1 (24). – С. 46–59.

УДК 658

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: УГРОЗЫ И РИСКИ РАЗВИТИЯ В РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И. В. Бабына

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

Машиностроение, являясь частью промышленности, представляет сложный комплекс, включающий более 70 подотраслей, продукция которых обеспечивает средствами производства все отрасли национальной экономики, определяя уровень их технологичности и прогрессивности. В экономике Республики Беларусь данная отрасль по итогам 2017 г. формирует 20,1 % объемов промышленного производства, 27,3 % рабочих мест в промышленном комплексе [1, с. 32, 55]. Вместе с тем в последние годы машиностроительная отрасль испытывает сложности в своем развитии, обусловленные

как внутренними, так и внешними факторами. Учитывая это, в 2017 г. была принята Государственная программа развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь на 2017–2020 гг., в которой отмечается, что «в машиностроении формируется мультипликативный эффект, проявляющийся на макроэкономическом, отраслевом и региональном уровнях» [2]. Таким образом, дальнейшее развитие машиностроения является стратегической задачей государства, что требует выявления существующих угроз и рисков с учетом специфики развития отрасли в национальных масштабах и ее территориального размещения в регионах Республики Беларусь.

В соответствии с общегосударственным классификатором Республики Беларусь к машиностроительному комплексу (МК) относятся следующие виды экономической деятельности (ВЭД): подсекция СН «Металлургическое производство. Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования»; подсекция СК «Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки»; подсекция СИ «Производство вычислительной, электронной и оптической аппаратуры»; подсекция СЖ «Производство электрооборудования»; подсекция СЛ «Производство транспортных средств и оборудования». Оценивая стабильность развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь в целом (таблица 1), следует отметить, что диапазон изменения средней его доли в объемах промышленного производства за последние 5 лет составлял от 18,11 до 21,89 %. В результате степень разбросанности значений анализируемого показателя составила 9,5 %, что соответствует среднему (умеренному) уровню риска.

Таблица 1

Доля отраслей машиностроительного комплекса в объеме промышленного производства Республики Беларусь в 2013–2017 гг., в % [1, с. 32]

ВЭД	2013 г.	2017 г.	Отклонение (+; -), п. п.	Среднее значение за 2013–2017 гг.	Среднеквадратическое отклонение, п. п.	Коэффициент вариации
МК, всего	23,4	20,1	-3,3	20,0	1,89	9,5
В том числе:						
СН	6,7	6,5	-0,2	6,4	0,24	3,8
СИ	1,3	1,7	+0,4	1,42	0,19	13,4
СЖ	2,8	2,6	-0,2	2,6	0,18	6,9
СК	8,1	6,4	-1,7	6,14	1,11	18,1
СЛ	4,5	2,9	-1,6	3,42	0,6	17,5

Ситуация в подсекциях машиностроительной отрасли складывается по-разному. Так, наибольшей стабильностью характеризуется ситуация в металлургическом производстве и производстве электрооборудования (низкий уровень риска). Другие подотрасли характеризуются достаточно высоким уровнем разброса их доли в объемах промышленного производства – 13,4–18,1 % (табл. 1). При этом на долю производства машин и оборудования и производства транспортных средств и оборудования приходится почти половина объемов машиностроительного производства.

Региональная структура машиностроительного комплекса свидетельствует, что наибольшее значение его подотрасли играют в развитии экономики г. Минска, Минской и Гомельской областей; на долю этих регионов в машиностроительном ком-

плексе Республики Беларусь в 2017 г. приходится 35,1, 22,7 и 20,2 %, соответственно (табл. 2) [1, с. 123–142].

Таблица 2

**Региональная структура подотраслей машиностроительного комплекса
Республики Беларусь в 2017 г. [1, с. 123–142]**

Области	МК – всего	В том числе				
		СН	СИ	СЛ	СК	СЛ
Республика Беларусь	100	100	100	100	100	100
В том числе:						
Брестская область	5,9	4,6	1,4	20,8	3,8	2,4
Витебская область	4,2	3,3	5,0	10,5	2,8	3,2
Гомельская область	20,2	44,9	2,5	6,8	13,5	1,8
Гродненская область	4,2	4,1	5,4	3,7	3,8	5,3
г. Минск	35,1	14,8	74,9	45,3	31,8	55,6
Минская область	22,7	22,5	10,6	8,1	32,3	22,0
Могилевская область	7,7	5,8	0,2	4,8	12,0	9,7

Анализ данных балансов товарных ресурсов позволяет сделать вывод, что в подсекциях СК «Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки», и СЛ «Производство транспортных средств и оборудования» в 2013–2017 гг. наблюдается снижение объемов производства в натуральных показателях практически по всем товарным позициям (за исключением легковых автомобилей и телевизоров), причем наибольший спад характерен для внутреннего потребления по сравнению с экспортными поставками [3, с. 11–14, 31–37].

Из всего вышесказанного следует, что угрозы развития машиностроительного комплекса связаны со снижением спроса как на внутреннем, так и внешнем рынках. Все это сопровождается более низкими темпами обновления основных средств в машиностроительном комплексе по сравнению с промышленностью в целом, что является результатом замедления инвестиционной активности в отрасли. Снижение внутреннего потребления также ведет к сокращению мультипликативных эффектов в части развития других отраслей национальной и региональной экономик и ограничивает возможности экономического роста в стране в целом. Преодоление существующих угроз связано с созданием комплекса стимулирующих условий для инвестиций, направленных на ускорение разработки и внедрение принципиально новых технологий, реализацию инновационных проектов, повышение ресурсоэффективности производства и качества продукции в отраслях машиностроительного комплекса [2].

Л и т е р а т у р а

1. Промышленность Республики Беларусь : стат. сб. – Минск, 2018. – 196 с. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 15.10.2018.
2. Об утверждении Государственной программы развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь на 2017–2020 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 7 авг. 2017 г. № 588. – Режим доступа: http://www.minprom.gov.by/order_n_588. – Дата доступа: 15.10.2018.
3. Балансы товарных ресурсов Республики Беларусь : стат. сб. – Минск, 2018. – 60 с. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 15.10.2018.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Материалы
XII Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные П. О. Сухому)

Гомель, 22–23 ноября 2018 года

Ответственный за выпуск *Н. Г. Мансурова*

Редакторы: *Н. В. Гладкова*
Т. Н. Мисюрова
А. В. Власов

Подписано в печать 16.11.18.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 47,43. Уч.-изд. л. 38,98.
Тираж 120 экз. Заказ № 790/44.

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