

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

**Тезисы докладов
XI Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные П. О. Сухому)**

Гомель, 20–21 октября 2016 года

**Гомель
ГГТУ им. П. О. Сухого
2016**

УДК 621.01(043.2)

ББК 34.4

C56

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, доц. *М. И. Михайлов*
канд. техн. наук, доц. *Г. В. Петришин*
д-р хим. наук *Е. Н. Подденежный*
канд. техн. наук, доц. *И. Н. Степанкин*
канд. техн. наук, доц. *А. В. Овсянник*
канд. техн. наук, доц. *Ю. Н. Колесник*
канд. экон. наук, доц. *Н. П. Драгун*
канд. экон. наук, доц. *Н. В. Пархоменко*
д-р физ.-мат. наук, проф. *О. Н. Шабловский*
канд. физ.-мат. наук, доц. *А. А. Бабич*
канд. техн. наук, доц. *В. В. Тодарев*
д-р техн. наук *И. А. Мурашко*

Под общей редакцией д-ра физ.-мат. наук, проф. *С. И. Тимошина*

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

С56 **Современные** проблемы машиноведения : тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 20–21 окт. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 226 с.

ISBN 978-985-535-318-9.

Представлены новейшие результаты научных исследований в области: современных технологий проектирования в машиностроении; современных материалов и наноматериалов; компьютерного моделирования технических систем; технических и программных средств автоматизации; энергосберегающих технологий; экономики и управления производством; физических и математических методов исследования сложных систем.

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

УДК 621.01(043.2)

ББК 34.4

ISBN 978-985-535-318-9

© Оформление. Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ

<i>Мышкин Н. К., Григорьев А. Я., Кудрицкий В. Г.</i> Оборудование для наземных и бортовых испытаний на трение материалов космической техники	12
<i>Крышинёў Ю. В.</i> Аўтаматызацыя вымярэнняў і дыстанцыйнае кіраванне тэхналагічнымі аб'ектамі нафтаправоднага транспарту	16
<i>Мороз Д. Р.</i> Перспективы изменения белорусского топливно-энергетического комплекса	25

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

<i>Литвин О. В., Ящук И. Р.</i> К вопросу синтеза компоновки зажимного патрона методом структурных формул	26
<i>Коваль В. В.</i> Оценка повреждаемости металлических материалов при их упруго-пластическом деформировании	27
<i>Грабовский А. П., Бондарец А. А.</i> Оценка долговечности работы конструкций и сооружений	28
<i>Бабенко А. Е., Равская Н. С., Боронко О. А.</i> Вынужденные поперечные колебания дисковой пилы при кинематическом возбуждении	30
<i>Польский Е. А., Звягинцев Ф. Д.</i> Обеспечение точности сборочных единиц на основе анализа размерных связей при компенсации тепловых деформаций	31
<i>Сорокин С. В., Пушкарев К. Н.</i> Аппаратный комплекс технологического обеспечения параметров точности нежестких высокотехнологичных деталей	33
<i>Попок Н. Н., Портянко С. А., Максимчук А. С., Гвоздь Г. И.</i> Технология проектирования блочно-модульных режущих инструментов с использованием 3D-принтера	34
<i>Попок Н. Н., Хмельницкий Р. С., Анисимов В. С., Гвоздь Г. И.</i> Проектирование технологии обработки сферических поверхностей деталей на токарных станках с ЧПУ и универсальных станках	35
<i>Герасимов А. А., Попок Н. Н., Сидикович А. В.</i> Физическое и компьютерное моделирование контактного взаимодействия резьбы в регулировочных механизмах расточных режущих инструментов	37
<i>Лустенков М. Е., Лустенкова Е. С.</i> Сферическая передача с промежуточными телами качения	38
<i>Попок Н. Н., Сидикович А. В., Бритик Е. В.</i> Оценка новых режущих инструментов по степени сложности	39
<i>Пашкевич В. М., Миронова М. Н.</i> Функциональная семантическая сеть для расчета параметров радиально-плунжерного редуктора	40
<i>Зинькевич Н. В., Крень А. П.</i> Определение твердости нежестких конструкций методом динамического индентирования	41
<i>Рудницкий В. А., Крень А. П., Ланцман Г. А.</i> Определение твердости материалов методом динамического локального деформирования	42

Врублевская В. И., Аникеева М. В. Повышение долговечности подшипников скольжения самосмазывающихся путем замены материала и метода термической обработки внутренних колец.....	43
Цырлин М. И., Аникеева М. В. Устройство для определения твердости эластичных материалов	44
Гавриленя А. К., Богданович И. А. Модернизация конструкций роliko-кольцевых мельниц центробежного типа.....	45
Баран И. А. Влияние регулируемых элементов в диффузорах вентилятора на распределение аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна	47
Булавко Ю. В. Анализ конструкции вальцов початкоочистительного устройства комбайна КП-4.....	48
Иванов Д. Н. Исследование технологического процесса выгрузки зерна в выгрузной системе зерноуборочного комбайна.....	49
Калиновский А. А., Джасов Д. В. Обеспечение работоспособности и долговечности ременных передач с автоматическим натяжением ремня, применяемых на сельскохозяйственных машинах	50
Кондрашова А. Н., Джасов Д. В. Особенности режимов нагружения и напряженно-деформированного состояния моста управляемых колес косилки самоходной.....	51
Бобарикин Ю. Л., Радькин Я. И. Исследование влияния геометрии калибров раскатного стана на напряженно-деформированное состояние очага деформации с целью оптимизации раскатки.....	52
Стасенко Д. Л., Петоченко М. И. Методика расчета мощности и момента сопротивления двухроторного вакуумного насоса с циклоидальным профилем роторов	53
Гинзбург А. А., Стасенко Д. Л. Сравнительный анализ потерь мощности в однопоточных системах с объемной и клапанной адаптацией к нагрузке.....	54
Пинчук В. В., Андреев С. Ф. Построение структурных схем агрегатно-модульных гидроблоков управления технологического оборудования.....	56
Петухов А. В. Разработка методики критериальной оценки САПР ТП.....	57
Попов В. Б., Голопятин А. В. Оптимизация параметров механизма навески комбайна самоходного кормоуборочного КСК-600	58
Одарченко И. Б., Ткачев В. М., Заяц Т. М. Технологические особенности получения литых заготовок элементов турбины турбобура.....	59
Кульгейко М. П., Мельников Д. В., Кульгейко Г. С., Петришин Г. В. Определение электрического сопротивления контактного замыкания рабочей зоны при магнитно-электрическом упрочнении	60
Чуб Е. М., Стасенко Д. Л. Определение ненадежных компонентов гидросистемы кормоуборочного комбайна	61
Лаевский Д. В., Стасенко Д. Л. Рекомендации по проектированию направляющих аппаратов	63
Попов В. Б. Математическое моделирование механизма навески подъемно-навесного устройства комбайна КСК-600	64
Андреев С. Ф., Тончинский Э. Г. К вопросу динамического моделирования мехатронного привода	65
Андреев Ю. А., Акатьев А. А. Влияние вида уплотнения на механический КПД гидродвигателя возвратно-поступательного движения	66

<i>Русан С. І.</i> Альтэрнатыўная методыка даследавання раўнавагі плоскіх статычна вызначальных механічных сістэм	67
<i>Шабакеева З. Я., Михайлов М. И., Карнов А. А.</i> Исследование микрогеометрии базовых поверхностей сменных многогранных пластин	68
<i>Богданович П. Н., Михайлов М. И., Михайлов К. М.</i> Анализ износостойкости заготовок из чугуна и сталей 51CrV4, 65 Г после их поверхностного упрочнения ...	70
<i>Кирпиченко Ю. Е.</i> Методические особенности исследования формирования смазочных слоев на металлах.....	71
<i>Старовойтов Н. А., Rogov С. В.</i> Идентификация математической модели износа абразивно-отрезного круга.....	72
<i>Ткачев В. М., Гутман Р. Е., Петрушенко В. И.</i> Метод определения физических свойств скважинных флюидов	73
<i>Попов В. Н., Евдокимов А. В.</i> Исследование теплостойкости упрочненной поверхности после электроэрозионного легирования	74
<i>Пастухов М. И.</i> Оценка технического ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов по коэффициенту запаса сопротивления усталости.....	75
<i>Никитенко Д. В., Михайлов М. И.</i> Моделирование образующей винтовой поверхности при формообразовании исходной инструментальной поверхностью с внутренним касанием.....	77
<i>Квитанов А. А., Одарченко И. Б., Ткачев В. М.</i> Современные подходы и задачи проектирования механических соединений арматурных стержней в строительных конструкциях ответственного назначения	78
<i>Тариков Г. П., Акулова Е. М., Стальмаков В. А., Михальков Н. В.</i> Применение электрического моделирования при определении контактных напряжений в системе колесо–рельс	79

СЕКЦИЯ II. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

<i>Аверченков В. И., Надуваев В. В., Фролов Е. Н.</i> Производство поликристаллических сверхтвердых материалов на основе наноалмазов, получаемых детонационным способом.....	81
<i>Ильющенко А. Ф., Савич В. В.</i> Современные композиционные материалы, полученные методами порошковой металлургии, в машиностроении.....	82
<i>Ильющенко А. Ф., Дмитриевич А. А., Лешок А. В., Роговой А. Н.</i> Использование спеченного порошкового фрикционного материала ФМ-12 в узлах трения со смазкой тракторов «Беларус»	83
<i>Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Луцко Н. И., Лапковский А. С.</i> Микротвердость покрытия из сплава ПГ-12Н-01, полученного лазерной наплавкой	84
<i>Телеш Е. В.</i> Исследование микроструктуры пленок TiBN.....	85
<i>Костюк Н. Н., Дик Т. А.</i> Решение проблемы создания универсальной технологии синтеза прекурсоров для CVD-процессов	87
<i>Костюк Н. Н., Дик Т. А.</i> Прекурсоры на основе хелатов переходных металлов для CVD-процессов в машиностроении.....	88
<i>Лин Д. Г., Воробьева Е. В.</i> Переход от синергизма к антагонизму при термостабилизации полиэтилена смесями ирганокса 1010 и оксида цинка	89
<i>Воробьева Е. В., Лин Д. Г.</i> Влияние условий хранения стабилизированных полиэтиленовых пленок на термоокислительную стойкость полиэтилена.....	90

<i>Рожков А. И., Корчак А. Д.</i> Испытание безасбестовых фрикционных материалов на ОАО «БМЗ» (г. Жлобин).....	91
<i>Сементовская А. А.</i> Разработка новой полимерной матрицы для фрикционных материалов на основе бутадиен-нитрильного каучука и фенолоформальдегидных смол.....	92
<i>Рожков А. И., Рожков А. И., Козлов А. В., Вершинин А. Н.</i> Утилизация стальной проволоки, плакированной алюминием	94
<i>Степанкин И. Н., Поздняков Е. П.</i> К вопросу увеличения периода прецизионной стойкости стали Р6М5 при ее контактном изнашивании	96
<i>Урбанович А. М., Бобарикин Ю. Л.</i> Определение величины критической упругой остаточной деформации при плакировании порошковыми покрытиями.....	97
<i>Бельский А. Т.</i> Влияние технологических параметров на прочность покрытия.....	98
<i>Верещагин М. Н., Агунович И. В., Крижевский И. М., Симонок И. Ю., Купреев А. В.</i> Влияние металлических наполнителей на трибологические и прочностные характеристики фрикционных композитов.....	100
<i>Банний В. А., Царенко И. В.</i> Влияние температуры переработки композиционных материалов на основе полиэтилена на эффективность радиопоглощения	101
<i>Шишков С. В., Бобарикин Ю. Л., Урбанович А. М.</i> Аналитическая модель деформации металлофторопластового полосового материала.....	102
<i>Павленок А. В., Дробышевская Н. Е., Подденежный Е. Н., Алексеенко Ю. А.</i> Керамические композиты на основе ультрадисперсных порошков оксида цинка, легированного алюминием, формируемые методом горения.....	103
<i>Влашевич В. В., Остриков О. М.</i> Метод расчета напряженно-деформированного состояния в системе «механический клиновидный двойник – трещина» в твердом теле при продольном смещении	104
<i>Рюмцев А. А., Остриков О. М.</i> Методика расчета напряжений в металлическом стекле при деформировании его поверхности сосредоточенной нагрузкой в случае формирования полосы сдвига у поверхности материала.....	105
<i>Алексеенко А. А., Алексеенко Ю. А., Петришин Г. В., Соболев Е. В., Дробышевская Н. Е., Попель А. В.</i> Особенности изменения микротвердости электрокорундовой керамики под действием термообработки в среде водорода.....	106
<i>Марачук Е. Н., Наумович А. С.</i> Окраска подвижного состава полиуретановыми материалами повышенной долговечности	107
<i>Давыдова О. В., Дробышевская Н. Е., Подденежный Е. Н., Савкова Т. Н., Шаповалов В. М.</i> Полимерно-кристаллические оптические композиты	109
<i>Злотников И. И., Хило П. А.</i> Прогнозирование эффективности применения технологических жидкостей при диспергировании материалов.....	110
<i>Урбанович А. М., Бобарикин Ю. Л.</i> Влияние остаточных напряжений при плакировании на качество сцепления порошкового покрытия и основы	111

СЕКЦИЯ III. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<i>Третьяков А. С., Капитонов О. А.</i> Моделирование тепловентиляционных режимов работы асинхронных электродвигателей при питании от синусоидального источника напряжения.....	113
<i>Архутик И. И., Пулято А. В.</i> Разработка компьютерной модели для оценки прочности вагона-цистерны с учетом силового взаимодействия с перевозимым жидким грузом в программном комплексе ANSYS Workbench.....	114

<i>Сенько В. И., Пигунов А. В., Афанаськов П. М.</i> Нагруженность торцевых стен кузовов вагонов-хопперов для перевозки минеральных удобрений.....	115
<i>Кидун Н. М.</i> Имитационное моделирование проведения лабораторного практикума	116
<i>Бобарикин Ю. Л., Мартьянов Ю. В.</i> Влияние диаметра деформирующего ролика на макроперемещения в металлокорде.....	117
<i>Храбров Д. Е., Мурашко И. А.</i> Синтез VHDL кода генераторов псевдослучайных последовательностей на клеточных автоматах	118
<i>Мурашко В. С., Rogov С. В.</i> Автоматизация определения рациональных режимов обработки на шлифовальных станках	119
<i>Масалитина Н. Н.</i> Математическая модель устойчивости иерархической системы.....	120
<i>Самсонов Н. А., Захаренко В. С.</i> Современное положение и перспектива развития методов непрерывной диагностики состояния высоковольтных электродвигателей в рамках ОАО «БМЗ – Управляющая компания холдинга «БМК».....	122
<i>Мурашко В. С., Рыбакова А. В.</i> Применение интегрированной системы проектирования технологических процессов в машиностроении.....	123
<i>Якимченко В. Г., Брикач Г. Е.</i> Имитационное моделирование в решении задач при кипении озонобезопасных хладагентов	124
<i>Кузьменков Ю. С., Мурашко И. А.</i> Механизмы анализа тональности текста	125
<i>Оборов М. В., Верещагин М. Н.</i> Определение оптимальных параметров калибров прокатных валков редуционно-растяжного стана с целью уменьшения дефектообразования.....	126
<i>Толстогузов Ю. А.</i> Алгоритм генерации порождающих полиномов М-последовательностей	128
<i>Ровин Л. Е., Жаранов В. А.</i> Компьютерное моделирование дисперсных материалов и газовых потоков в ротационных печах.....	129
<i>Гончаров П. В.</i> Классификация сжатых изображений методами глубинного обучения	130
<i>Панасенко М. С.</i> Варианты разработки Западно-Чумпасского лицензионного участка	131
<i>Новик С. И.</i> Программно-аппаратный комплекс определения количества свободных парковочных мест на автостоянке.....	132

**СЕКЦИЯ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
АВТОМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.
МЕХАТРОНИКА**

<i>Войтов А. Ю., Кузнецов В. В.</i> Моделирование в среде Matlab системы перемещений с тремя степенями свободы.....	134
<i>Кузнецов В. В., Войтов А. Ю.</i> Системы пространственных перемещений на трех планарных позиционерах	135
<i>Дорощенко И. В., Погуляев М. Н., Веннер Л. В.</i> Анализ методик расчета параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по каталожным данным.....	136
<i>Меньшаков П. А., Мурашко И. А.</i> Устройство голосовой идентификации пользователя в системах контроля доступа	137

<i>Соленков В. В., Брель В. В.</i> Влияние момента растормаживания на переходные процессы и износ фрикционных накладок в асинхронном двигателе со встраиваемым комбинированным тормозным устройством.....	138
<i>Соленков В. В., Брель В. В.</i> Две конструкции встраиваемого в асинхронный двигатель электромеханического тормоза.....	139
<i>Савельев В. А., Аксенов А. В.</i> Учебно-исследовательский стенд на базе электропривода постоянного тока с передачей «винт-гайка» с управлением от программируемого логического контроллера Mitsubishi Alpha 2	140
<i>Логвин В. В., Веннер Л. В., Рожков А. И.</i> Оптимизация динамических процессов при колебаниях в крановых электроприводах	141
<i>Фаняев И. А., Кудин В. П.</i> Фазированная антенная решетка над проводящим цилиндром из излучателей горизонтальной поляризации	143
<i>Крышнев Ю. В., Ильющец Е. А.</i> Анализ возможностей позиционирования транспортных объектов на основе показаний акселерометров и гироскопов	144
<i>Кухаренко С. Н., Болденко С. В.</i> Передающий модуль тонового и фазоманипулированного сигналов для внутритрубных устройств нефтепровода	145
<i>Виноградов Э. М.</i> Применение программного пакета Scilab для решения задач автоматического управления	146
<i>Карпов А. В.</i> Исследование автогенераторного способа управления током в электропропорциональном магните	147
<i>Козусев Ю. А., Кухаренко С. Н.</i> Способ определения постоянной времени переходного процесса и устройство для его осуществления.....	148
<i>Щуплов В. В., Кухаренко С. Н.</i> Метод определения местоположения внутритрубного устройства в нефтетрубопроводе	150
<i>Карпов В. А., Ростоккина О. М., Карпов А. В., Котова Ю. Е.</i> Повышение температурной стабильности измерительных преобразователей на основе элементов Холла.....	151
<i>Крышнев Ю. В., Мельников А. В., Козик А. Н., Воробьев В. В.</i> Двухканальный микропроцессорный модуль для наземного устройства поиска внутритрубных технологических объектов	152
<i>Захаренко Л. А., Карпов В. А., Котова Ю. Е., Лукашов В. М., Мельников А. В., Уваров А. Г.</i> Двухканальный промышленный рХ-метр.....	153
<i>Захаренко Л. А., Лукашов В. М., Мельников А. В., Бодиловский С. М., Козик А. Н., Куреев С. Г.</i> Многоканальный стабилизатор катодного тока с возможностью удаленного управления.....	154
<i>Черехун В. А., Ковалев А. В., Литвинов Д. А.</i> Способ компенсации температурной погрешности электропропорционального регулятора расхода	155
<i>Литвинов Д. А., Ковалев А. В., Хананов В. А.</i> Импульсный преобразователь напряжения для электролюминофорной подсветки	156

СЕКЦИЯ V. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

<i>Дробов А. В., Галушко В. Н.</i> Определение расположения источников питания в системе электроснабжения методом случайного поиска	158
<i>Дробов А. В., Галушко В. Н.</i> Программное обеспечение выбора оптимальной конфигурации электрической сети.....	159

<i>Трофимов Ю. В., Пенязьков О. Г., Докторов В. В., Делендик К. И., Лишик С. И., Першукевич П. П., Ефименко А. Г.</i> Энергосберегающие светодиодные светильники на тепловых трубах	160
<i>Могила В. С., Комнатный Д. В.</i> Электростатический расчет системы бесконечно длинных проводов итерационным методом.....	161
<i>Комнатный Д. В.</i> Решения уравнений цепей с распределенными параметрами в задачах электроэнергетики	162
<i>Шашков И. В., Рудченко Ю. А.</i> Работа трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в автоколебательном режиме.....	163
<i>Тодарев В. В., Погуляев М. Н., Зайцев А. С.</i> Энергоэффективный безредукторный колебательный асинхронный электропривод	164
<i>Погуляев М. Н., Тодарев В. В., Смахтин А. А.</i> Устройство нагружения резервных электрогенераторов с рекуперацией энергии в сеть	165
<i>Трошев Д. С., Овсянник А. В.</i> Возможность использования теплоаккумулирующей способности здания для оптимизации режимов работы тепловых насосов.....	166
<i>Широколова Н. В., Морозова О. Ю.</i> Система шариковой очистки конденсатора турбины Т-180/210-130 – метод повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.....	168
<i>Ровин Л. Е., Русая Л. Н., Герасимова О. В.</i> Ресурсосбережение при ваграночной плавке	169
<i>Ровин С. Л.</i> Децентрализованный рециклинг дисперсных металлоотходов.....	170
<i>Ровин С. Л., Заяц Т. М.</i> Твердожидкофазное восстановление оксидных металлоотходов.....	171
<i>Зализный Д. И.</i> Гармонический состав токов трехфазного косинусного силового конденсатора.....	172
<i>Ходько Е. М., Сероокий Ю. А.</i> Комплексный подход в использовании отходов калийного производства	173
<i>Бахмутская В. В., Шведова О. С., Полозова О. А.</i> Применение вентильно-индукторных электродвигателей на насосном оборудовании.....	174
<i>Войтович В. А., Шведова О. С., Бахмутская В. В.</i> Автоматизация выбора рационального напряжения распределительных сетей промышленных предприятий	175
<i>Засименко А. В., Алферов А. А.</i> Повышение надежности эксплуатации четырехжильных силовых кабелей при питании нелинейной нагрузки.....	176
<i>Довгун А. А., Алферов А. А., Рудченко Ю. А.</i> Применение программного комплекса «Sigma» для расчета режима высших гармоник в электрических сетях промышленных предприятий.....	177
<i>Евминов А. Л., Алферова Т. В.</i> Разработка методики технического диагностирования электрооборудования НПС ОАО «Дружба».....	178
<i>Железко А. М., Алферова Т. В.</i> Автоматизация расчета электрических нагрузок сельскохозяйственных потребителей методом добавок.....	179
<i>Колесник Ю. Н., Сарнавский И. Ю.</i> Совершенствование программы энергосбережения предприятий (на примере КПУП «Мозырские молочные продукты»)	180

СЕКЦИЯ VI. ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ, ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

<i>Арашкевич О. В.</i> Проблемы и пути развития машиностроения в Республике Беларусь	182
--	-----

<i>Листопад Л. В.</i> Развитие кадрового потенциала предприятия машиностроения: компетентностный подход	183
<i>Бабына И. В.</i> Эффективность инвестиционных процессов в сфере малого и среднего предпринимательства	184
<i>Геврасева А. П., Глухова И. В.</i> Методические аспекты оценки кластеризации экономики региона	185
<i>Пономаренко Е. П.</i> Совершенствование показателей оценки использования капитала для целей управления	186
<i>Трейтьякова Е. В.</i> Хозрасчетные санкции в инновационной концепции развития предприятий машиностроения	187
<i>Ландова Н. К.</i> Направления совершенствования эффективности производства машиностроительного предприятия	189
<i>Голуб В. А.</i> Совершенствование управления производственным процессом на основе взаимной опережающей многоуровневой адаптации	190
<i>Голуб М. В.</i> Управление производственным процессом как фактор повышения качества продукции	191
<i>Пархоменко Н. В., Щукина Л. В., Шевелева Т. А.</i> Системный подход к управлению энергопотреблением в машиностроении: эколого-экономический аспект	192
<i>Пархоменко Н. В., Фильчук Т. Г.</i> Стандарты на системы энергоменеджмента: эволюция и возможности внедрения на предприятиях машиностроения	193
<i>Бердин А. Ю., Лизакова Р. А.</i> Базовые принципы организации распределительной сети промышленного предприятия	194
<i>Драгун Н. П., Ивановская И. В.</i> Направления активизации кластерного развития машиностроения	195
<i>Драгун Н. П., Курбиева И. Ю.</i> Зарубежный опыт повышения производительности труда: содержание и применение на белорусских предприятиях	197
<i>Павлов А. М.</i> Управление дебиторской задолженностью предприятий машиностроения: сравнительная оценка факторинга и кредита	198
<i>Лапицкая О. В., Петров-Рудаковский А. П.</i> Активизация использования машинно-технической составляющей с целью развития экономического и экспортного потенциала недревесных лесных ресурсов	199
<i>Павлов А. М., Брикач Г. Е.</i> Интегральная оценка финансового состояния машиностроительного предприятия	200
<i>Астраханцев С. Е.</i> Организация отраслевой проблемной лаборатории «Бережливое литейное производство»	202
<i>Волкова Ю. А., Драгун Н. П.</i> Прогнозирование эффективности интеграции машиностроительных предприятий на рынке	203
<i>Сталович Н. С.</i> О задаче управления надежностью логистической системы	204
<i>Кожевников Е. А.</i> Проблемы развития логистической деятельности белорусских производственных предприятий на принципах оптимальности	205
<i>Васичева В. А.</i> Стратегические альянсы в автомобильной промышленности на примере Volvo	207
<i>Карчевская Е. Н.</i> Управление продвижением товаров и услуг через социальные сети	208
<i>Брикач Г. Е.</i> Имитационная модель прогнозирования возможного будущего экономического состояния ООО «МОТО-ВЕЛЮ»	210
<i>Порошин В. Д.</i> Краткое обоснование и основы организации гидрохимического мониторинга разработки месторождения Западная Курна-2 (Ирак)	211

**СЕКЦИЯ VII. ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

<i>Бабенко А. Е., Лавренко Я. И., Грехнев А. А.</i> Малые колебания центрифуги на нелинейно упругих опорах	213
<i>Локтионов А. В., Лемницкая А. В.</i> Матричная методика расчета кинематических характеристик при сферическом движении исполнительного механизма	214
<i>Локтионов А. В., Рубик С. В.</i> Аналитические методы расчета малых колебаний маятника	215
<i>Можаровский В. В., Кузьменков Д. С., Демова Т. М.</i> Алгоритм определения параметров контакта для покрытия из композита при вдавливании упругого шара	216
<i>Голубева Е. А., Можаровский В. В.</i> Реализация расчета напряженного состояния труб из композитов	217
<i>Лискович М. И., Стех И. И.</i> Уравнения для расчета давления прессования при создании покрытия, получаемого совместной вытяжкой	218
<i>Щербаков С. А.</i> Алгоритм определения сил закрепления заготовки	219
<i>Бельский А. Т., Сакович А. В.</i> Физическое моделирование процесса коррозии при лабораторных испытаниях металлических покрытий	220
<i>Кравцов А. С., Гавриш В. Ю.</i> Решение одномерных краевых задач в системе Mathematica	221
<i>Концевой И. А., Жуковский А. М.</i> Влияние силы трения Рэлея на вязкоупругое течение Куэтта	222
<i>Апасов Р. Р., Цитринов А. В.</i> Оценка чувствительности современных и планируемых адрон-адронных коллайдеров к эффектам дополнительных пространственных измерений	224

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621.1:621.89:629.7.081

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ И БОРТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ТРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Н. К. Мышкин, А. Я. Григорьев, В. Г. Кудрицкий

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

Дальнейшее освоение околоземного пространства не может быть обеспечено только наращиванием числа и частоты вывода на орбиту объектов космической техники даже при использовании перспективных средств их доставки. Успешное решение данной задачи неразрывно связано с увеличением надежности и ресурса орбитальных аппаратов. В связи с этим основные направления развития космической техники следующего поколения предусматривают значительное увеличение сроков ее эксплуатации. Одной из задач, возникающих при реализации данного требования, является обеспечение необходимого ресурса работы узлов трения, работающих в открытом космосе.

По условиям эксплуатации многие узлы трения орбитальной техники: зубчатые передачи и подшипники антенных платформ, петли люков, приводы различных механизмов, резьбовые соединения, замковые механизмы, контактные уплотнения – работают вне герметизированных отсеков. Трение в этих узлах происходит при воздействии целого ряда неблагоприятных факторов космического пространства (ФКП), к главным из которых относят отсутствие окислительной среды и паров воды, значительные перепады температуры (170–420 К), ионизирующее и ультрафиолетовое излучение, пучки ионов и тяжелых частиц. В таких условиях механизмы трения и изнашивания существенно отличаются от наземных, что не позволяет использовать традиционные (наземные) решения для обеспечения требуемых характеристик и параметров надежности узлов трения.

С момента первых запусков космических аппаратов этой проблеме уделялось самое пристальное внимание. Однако в наземных условиях невозможно провести адекватные по совокупности действующих ФКП испытания триботехнических материалов: во-первых, очень трудно подобрать условия испытаний, идентичные эксплуатационным, и, во-вторых, не все ФКП известны и могут быть воспроизведены. По этим причинам невозможно обойтись без проведения натурных исследований.

Первый и пока единственный эксперимент по исследованию трения и изнашивания материалов в открытом космосе был проведен в ходе выполнения научной программы «Луна-4» (1974 г.). Для его реализации на НПО имени С. А. Лавочкина был создан прибор – имитатор трения, который впоследствии был установлен снаружи космического аппарата «Луна-24», выведенного на орбиту Луны [1]. С помощью этого прибора был решен ряд наиболее актуальных задач космического триботехнического материаловедения [2]. Тем не менее, работа многих объектов космической техники сопровождалась целым рядом отказов и поломок узлов трения. Все это позволяет говорить о том, что, несмотря на значительные результаты, полученные при проведении исследований как на орбите, так и в наземных лабораториях, существуют оп-

ределенные пробелы в современных представлениях о процессах трения и изнашивания в космосе.

Новые возможности в этой области открылись с началом эксплуатации международной космической станции (МКС). В настоящее время в рамках программы «Космос-СГ» планируется проведение на МКС испытаний перспективных антифрикционных и износостойких материалов космической техники. Постановка этого эксперимента предусматривает решение целого комплекса задач, включающего создание испытательной аппаратуры, разработку новых материалов, испытания наземных и бортовых методик проведения испытаний [3], [4].

Планируемый эксперимент отличает значительное расширение исследовательской программы по сравнению с предшествующими подобными испытаниями. Тем не менее, бортовые испытания ограничены как по времени, так и по числу регистрируемых параметров. Поэтому для увеличения объема информации предусматривается проведение серии имитационных наземных экспериментов с расширенной исследовательской программой.

Схема эксперимента и постановка задачи. В общем случае проведение триботехнических испытаний материалов заключается в измерении коэффициентов (сил) трения, возникающих при относительном движении контактирующих образцов, и определении их износа. Исследования проводятся в заданных условиях, включающих скорость скольжения, нагрузку и параметры среды (температуру, давление, влажность и т. п.). Получаемые результаты обычно представляются в виде зависимостей коэффициента трения и износа образцов от пути (времени) трения. В совокупности с условиями испытаний эти данные позволяют обоснованно выбирать материалы проектируемых узлов трения, определять потери мощности в них и прогнозировать ресурс работы.

В триботехнике используются различные схемы проведения испытаний, отличающиеся геометрией контактирующих образцов и кинематикой их взаимного движения. Выбор той или иной схемы определяется конструктивными и эксплуатационными параметрами узлов трения, в которых планируется использовать испытываемые материалы. Обычно получение полного набора триботехнических характеристик требует проведения испытаний по различным схемам в широком диапазоне нагрузочно-скоростных параметров. К сожалению, при проведении космического эксперимента реализовать полнофакторные исследования невозможно. По этой причине при проектировании испытательного оборудования был использован ряд технических решений, существенно расширяющих его возможности по сравнению с традиционными наземными приборами.

Разработанные для реализации космического эксперимента приборы предназначены для проведения испытаний по двум геометрическим схемам контактирования образцов: «диск – палец (индентор)» и «вал – конформный вкладыш» (рис. 1, а, б). Как показал проведенный анализ, эти две схемы позволяют осуществлять моделирование большинства используемых в настоящее время узлов трения космической техники. Оба прибора имеют общую схему компоновки и близкие массогабаритные характеристики.

На рис. 1, в приведена схема прибора (трибометра) для испытаний по схеме «диск – палец». Исследуемый материал изготавливается в виде диска 1 или наносится в виде покрытия на него. С каждой стороны к диску прижимаются по три индентора 2, которые имеют плоскую или сферическую форму торцов. Требуемая нагрузка P создается упругими элементами 3, попарно соединяющими инденторы, которые расположены на противоположных сторонах диска. Каждая пара инденторов нахо-

дится на разных расстояниях от центра диска r . Значения нормальной нагрузки и возникающих при вращении диска сил трения регистрируются тензометрическими балками 4. Вращение диска 2 осуществляется двигателем 5.

Основной особенностью разработанных приборов является использование в них синхронного безколлекторного двигателя с возбуждением от редкоземельных постоянных магнитов и цифровым управлением, созданного в Конструкторском бюро точного электронного машиностроения – сборочного оборудования и Объединенном институте машиностроения Национальной академии наук Беларуси. Преимуществом данного типа привода является возможность реализации с его помощью нескольких схем и методик триботехнических испытаний, осуществление которых обычно требует применения различных по своей конструкции приборов. Привод обеспечивает работу прибора в условиях действия ФКП при температурах от 170 до 420 К и вакууме до 0,01 Па.

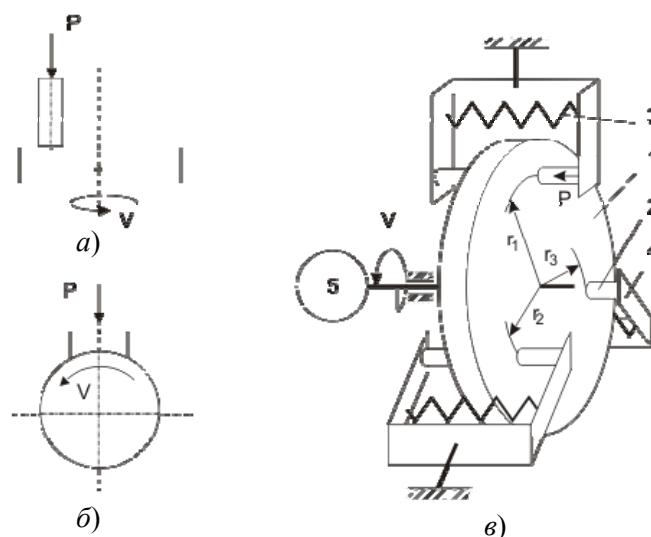


Рис. 1. Схемы испытаний материалов на трение и износ, используемые в космическом эксперименте: *a* – «диск – палец (индентор)»; *б* – «вал – конформный вкладыш»; *в* – кинематическая схема бортового трибометра

При проведении испытаний управляемыми параметрами являются: нагрузка P , угловая скорость вращения ω , угловая координата перемещений φ , закономерность изменения ω и φ во времени t . В процессе проведения испытаний осуществляется контроль коэффициентов трения f ; температуры в приконтактной области каждого из инденторов T, K ; износа каждого индентора h , мм; фрикционной теплостойкости материалов исследуемой пары трения.

Для постановки космического эксперимента по исследованию перспективных материалов узлов трения разработаны и изготовлены приборы двух типов – бортовые и наземные (рис. 2).

Бортовой трибометр (рис. 2, *a*) в ходе испытаний располагается на наружной технологической площадке МКС. Данные об испытаниях передаются на Землю в режиме реального времени по телеметрическим каналам. Предусматривается, что в ходе эксперимента экипаж МКС периодически будет менять материалы и режимы испытаний.

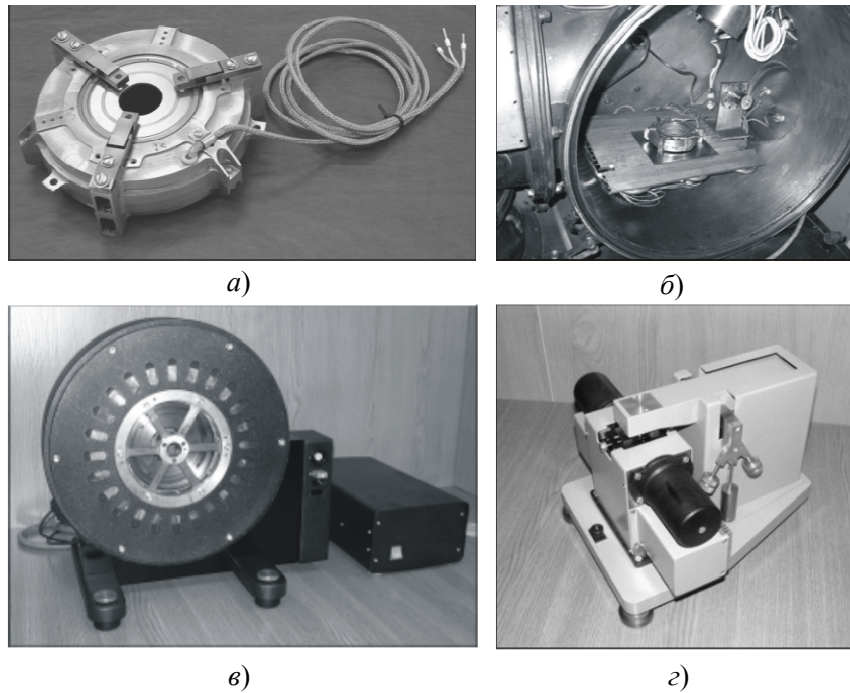


Рис. 2. Оборудование для проведения испытаний материалов на трение и износ: *а* – бортовой трибометр; *б* – трибометр для имитационных криовакуумных испытаний; *в* – кинематический аналог бортового трибометра для проведения испытаний в наземных условиях; *г* – наземный трибометр для испытаний в диапазоне микронагрузок

Наземные испытания проводятся по двум схемам. Первая схема основана на максимальном приближении к условиям работы бортового трибометра – это так называемые имитационные испытания в криовакуумной камере на идентичном бортовом приборе (рис. 2, б), вторая предполагает проведение исследований в нормальных наземных условиях с помощью кинематического аналога бортового трибометра (рис. 2, в) и микротрибометра (рис. 2, г). Целью проведения наземных исследований является расширение параметрической базы эксперимента и оценка влияния факторов космического пространства на триботехнические характеристики антифрикционных и износостойких материалов.

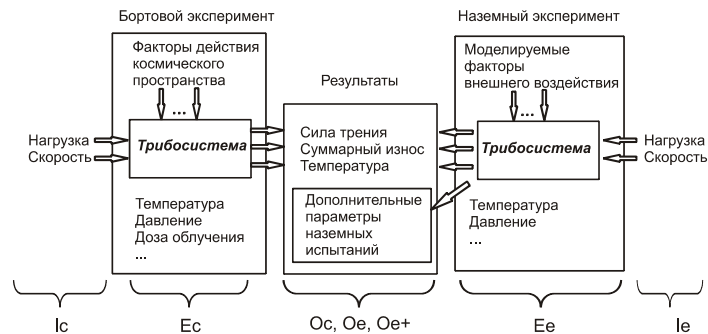


Рис. 3. Схема космического эксперимента по исследованию триботехнических свойств материалов: *I_c*, *I_e* – задаваемые параметры испытаний; *E_c*, *E_e* – внешние факторы воздействия; *O_c*, *O_e*, *O_e⁺* – измеряемые параметры. Символы «с», «е» обозначают бортовой и наземный эксперименты

В соответствии с общей схемой (рис. 3) наземный эксперимент проводится по расширенной программе, предусматривающей реализацию полнофакторного эксперимента, регистрацию целого ряда дополнительных параметров (измерение отдельного износа диска и инденторов, трибоакустической эмиссии, работы выхода электронов и др.) и проведение постэкспериментальных исследований образцов, включающих изучение морфологии частиц износа и следов трения, микрорентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа и многих других современных методов изучения поверхностных слоев твердых тел.

Литература

1. Имитатор трения / Н. Е. Богорад [и др.] // Современ. методы и средства измерения внешнего трения : сб. науч. тр. – М. : НИИ ФТРИ, 1977. – С. 8–10.
2. Ярош, В. М. Исследование материалов на трение и износ в открытом космическом пространстве и на орбите вокруг Луны / В. М. Ярош, А. А. Моишев, М. А. Броневец // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 6. – С. 626–635.
3. Equipments and materials for tribotesting in open space on International Space Lab / N. K. Myshkin [at al.] // Tribology in Industry. – 2011. – Vol. 33, № 1. – P. 43–47.
4. Разработка материалов и покрытий для космической техники, экспериментального оборудования, методик и программного обеспечения для проведения триботехнических испытаний / Н. К. Мышкин [и др.] // Трение и износ. – 2004. – Спец. вып. – С. 4–27.

УДК 621.64:621.398

АЎТАМАТЫЗАЦЫЯ ВЫМЯРЭННЯЎ І ДЫСТАНЦЫЙНАЕ КІРАВАННЕ ТЭХНАЛАГІЧНЫМІ АБ'ЕКТАМІ НАФТАПРАВОНАГА ТРАНСПАРТУ

Ю. В. Крышнёў

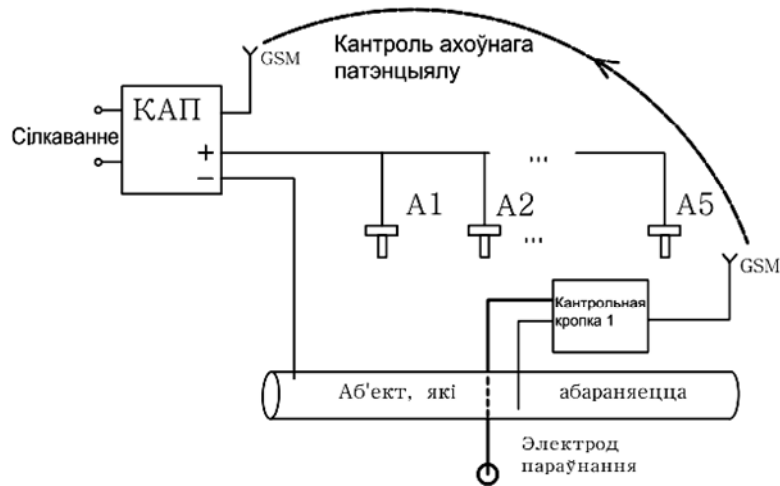
*Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны тэхнічны
ўніверсітэт імя П. В. Сухого», Рэспубліка Беларусь*

Асноўнымі дэфектамі, якія ўзнікаюць у трубаправодзе ў працэсе эксплуатацыі, з'яўляюцца каразійныя пашкоджанні знешніх паверхняў трубапровода праз парушэнні ізаляцыі і эразійныя пашкоджанні ўнутраных паверхняў трубапровода з прычыны міжкрышталітнай карозіі і гідрадынамічных удараў, прыводзячых да страты металу ў сценах трубы. Для барацьбы з карозіяй металу ў трубапроводах выкарыстоўваецца катодная (электрахімічная) абарона, якая дазваляе значна запаволіць карозію ў месцах з дэфектамі ізаляцыі. Актуальнымі задачамі з'яўляюцца:

– для запаволення працэсаў карозіі сценак нафтаправода і разбурэння ізаляцыйнага пакрыцця – распрацоўка прылад стабілізацыі аноднага (або катоднага – у залежнасці ад канфігурацыі аб'екта) току, якія эфектыўна падтрымліваюць патрэбны ахоўны патэнцыял на кожнай з ліній працяглых участкаў нафтаправода;

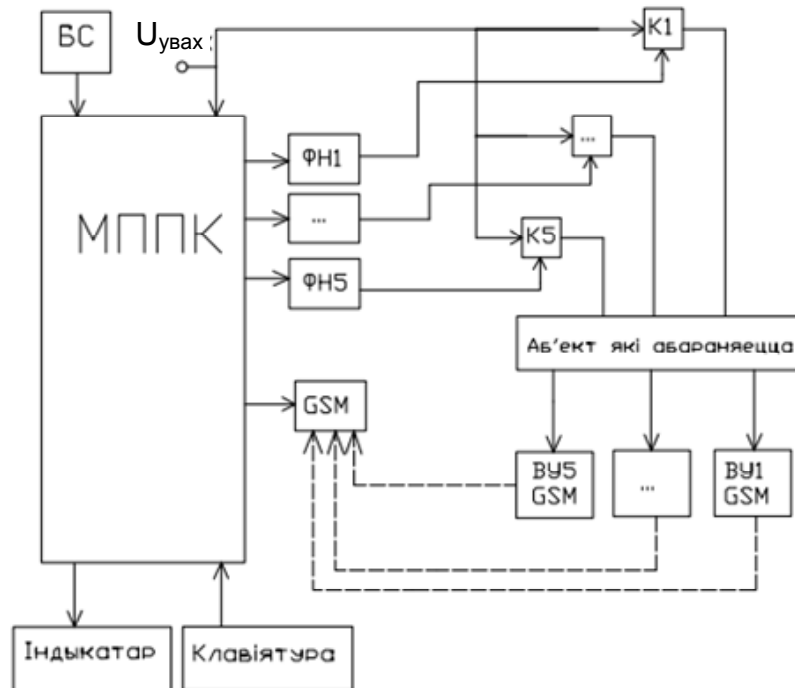
– для выяўлення месцаў пашкоджання ізаляцыйнага пакрыцця нафтаправода – распрацоўка ўнутрытрубных вымяральных і дыягнастычных сродкаў, якія працуюць ва ўмовах бесперапыннага тэхналагічнага працэса транспарту нафты.

Аўтаматычныя сістэмы фарміравання электрахімічных ахоўных патэнцыялаў падземных трубапроводаў. Распрацаваны шматканальны стабілізатар-дзельнік аноднага току з кантролем ахоўнага патэнцыялу, які прадугледжвае назіранне за патэнцыялам трубапровода ў аўтаматычным рэжыме. Прынцып яго дзеяння прадугледжвае выкарыстанне ў кожным канале двух GSM-модуляў, адзін з якіх усталяваны ў кантрольнай кропцы, а другі – непасрэдна на катоднай ахоўнай прыладзе (мал. 1).



Мал. 1. Структура 5-канальнага імпульснага стабілізатара аноднага току для станцый катоднай абароны з кантролем ахоўнага патэнцыялу: КАП – катодная ахоўная прылада; А1–А5 – глыбінныя анодныя заземляльнікі

На мал. 2 прыведзена функцыянальная схема станцыі катоднай абароны са шматканальным стабілізатарам аноднага току.



Мал. 2. Функцыянальная схема станцыі катоднай абароны з 5-канальным стабілізатарам аноднага току: МППК – мікрапрацэсарная прылада кіравання; К₁–К₅ – каналы стабілізатара-дзельніка току; ВУ₁–ВУ₅ – вымяральныя ўзмацняльнікі; ФН₁–ФН₅ – фарміроўнікі напружання (у форме шырогна-імпульснай мадуляцыі); БС – блок сілкавання; GSM – тэлекамунацыйныя модулі фармату GSM

У перыяд 2010–2016 гг. на кафедры «Прамысловая электроніка» ГДТУ імя П. В. Сухого супольна са спецыялістамі групы электрахімічнай абароны ААТ «Гомельтранснафта Дружба» ў накірунку стварэння аўтаматычных сістэм стабілізацыі электрахімічных патэнцыялаў падземных нафтаправодаў здзейснены і прайшлі эксперыментальную апрацацыю наступныя распрацоўкі [1]–[3] (мал. 3):

- двухполюсны (прахадны) стабілізатар-дзельнік току катоднай абароны з функцыяй аўтаматычнай стабілізацыі;
- прылада дыстанцыйнага маніторынгу ахоўнага патэнцыялу трубаправода;
- шматканальны стабілізатар-дзельнік катоднага току з Ethernet-інтэрфейсам.



а)



б)



в)

Мал. 3. Знешні выгляд: а – двухполюснага стабілізатара-дзельніка току катоднай абароны з функцыяй аўтаматычнай стабілізацыі; б – прылады дыстанцыйнага маніторынгу ахоўнага патэнцыялу трубаправода; в – шматканальнага стабілізатара-дзельніка катоднага току з Ethernet-інтэрфейсам

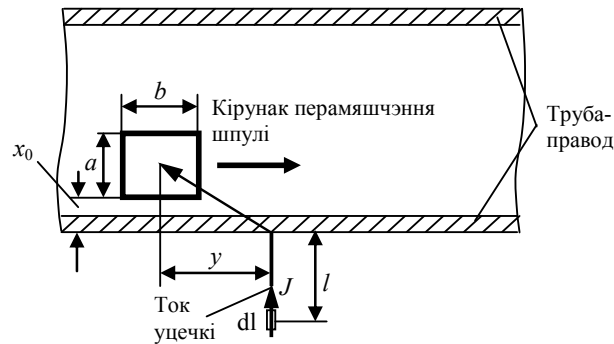
Унутрытрубная дыягностыка парушэнняў ізаляцыйнага пакрыцця падземных нафтаправодаў. Для папярэджання з'яўлення каразійных дэфектаў праз парушэнні ізаляцыі падземных нафтаправодаў быў распрацаваны метада бескантактавага кантролю ізаляцыі трубаправода шляхам вымярэння магнітнага поля, створанага токамі ўцечкі, і ўзнікаючым неаднастайным токам трубы ў месцах пашкоджання ізаляцыі [4], [5].

Парушэнне ізаляцыі размешчанага ў зямлі металічнага трубаправода прыводзіць да «расцяжання» току трубы ў зямлю. У выніку ток трубаправода робіцца неаднастайным. У адсутнасць неаднастайнасцяў току магнітнае поле ўсярэдзіне трубаправода роўна нулю, неаднастайнасць току прыводзіць да з'яўлення поля.

Метада прадугледжвае выкарыстанне пераменнага вымяральнага току, які генеруецца адмысловымі генератарамі. Гэта дае наступныя перавагі:

- магчымасць выкарыстання ў вымяральных каналах селектыўных (частотна-абіральных) ўзмацняльнікаў з каэфіцыентам узмацнення парадку 10^6 – 10^7 разоў;
- магчымасць выключыць уплыў на вынік вымярэнняў магнітнага поля самой трубы, абумоўленага рэшткавай намагнічанасцю, якое на некалькі парадкаў больш за магнітнае поле ад токаў уцечкі.

Ток уцечкі і неаднастайны ток трубаправода ў месцы парушэння ізаляцыі прыводзяць да ўзнікнення магнітнага поля, якое прапануецца вымяраць з дапамогай размешчанага ўсярэдзіне трубаправода індукцыйнага датчыка – шматвіткавай шпулі (мал. 4). Размяшчэнне шпулі (ці сістэмы шпуль) дазваляе вымяраць той ці іншы складнік магнітнага поля ў трубаправодзе.



Мал. 4. Прынцып вымярэння магнітнага поля току ўцечкі

Электрарухальная сіла (ЭРС), наведзеная ў шпулі магнітным полем току ўцечкі, вызначаецца ў адпаведнасці з законам электрамагнітнай індукцыі:

$$e = -N \frac{\partial}{\partial t} e^{j\omega t} \int_{-L}^0 \int_{x_0}^{x_0+a} \int_{y_m-\frac{b}{2}}^{y_m+\frac{b}{2}} dy \cdot dx \cdot dB_z,$$

дзе N – колькасць віткоў у шпулі; ω – кругавая частата току ўцечкі; dB_z – магнітная індукцыя элемента току ўцечкі:

$$dB_z(x, y) = \frac{\mu_0 I(l) dl y}{4\pi \left[\sqrt{(x-l)^2 + y^2} \right]^3}.$$

Тут прынята, што ток уцечкі размеркаваны перпендыкулярна восі трубаправода на інтэрвале даўжынёй L .

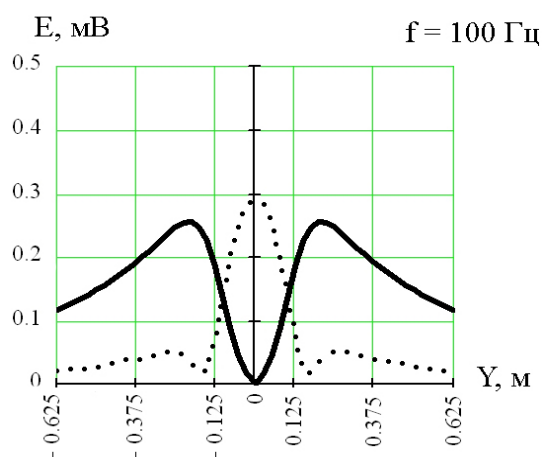
ЭРС, наведзеная ў шпулі, па форме паўтарае функцыю напружанасці магнітнага поля. Пры размяшчэнні цэнтра шпулі па-над месцам працякання току ўцечкі, наведзеная ў ёй ЭРС раўна нулю, далей ЭРС узрастае, пры нейкім становішчы шпулі мае максімум і далей зноў памяншаецца да нуля. Сустрэчнае ўключэнне двух шпуль дазваляе прыкладна ўдвая павялічыць наведзеную ЭРС. На мал. 5 прыведзены залежнасці ЭРС у двух шпулях пры паслядоўным і пры сустрэчным уключэннях (адлегласць паміж шпулямі $d = 0,2$ м). ЭРС, наведзеная ў шпулі, ці двух шпулях, складае (10^{-11} – 10^{-12}) В.

Аналагічным чынам разлічваецца магнітнае поле і ЭРС, наведзеная ў датчыку неаднастайным токам трубы. Тут неабходна ўлічваць, што экранаванне поля сценкай трубы ці саслаблена, ці адсутнічае ў залежнасці ад глыбіні пашкоджання металу.

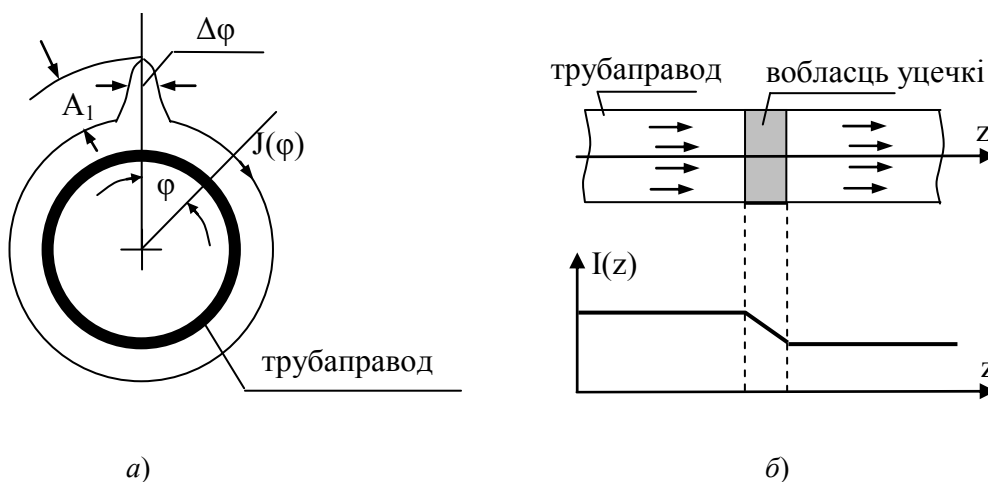
Неаднастайнасць у палярным (азімутальным) кірунку (мал. 6, а) ствараецца ўцечкай току, размеркаванай уздоўж трубы. Уздоўж трубы ток аднастайны, а ў азімутальным кірунку змяняецца паводле закону:

$$J(\phi) = \left[A_0 + A_1 \left| \cos \frac{\phi}{2} \right|^m \right] e^{j\omega t},$$

дзе A_0 – канстанта, якая вызначае велічыню току ў адсутнасць неаднастайнасці; A_1 і m (дадатная лічба) вызначаюць адпаведна велічыню змянення току і памер неаднастайнасці; $\Delta\phi$, ϕ – азімутальная каардыната (пачатак адліку па ϕ супадае з максімумам току).



Мал. 5. ЭРС, яка індукуецца ў двух шпулях пры паслядоўным уключэнні (суцэльная лінія – рознасная дыяграма) і пры сустрэчным уключэнні (пункцірная лінія – сумарная дыяграма)

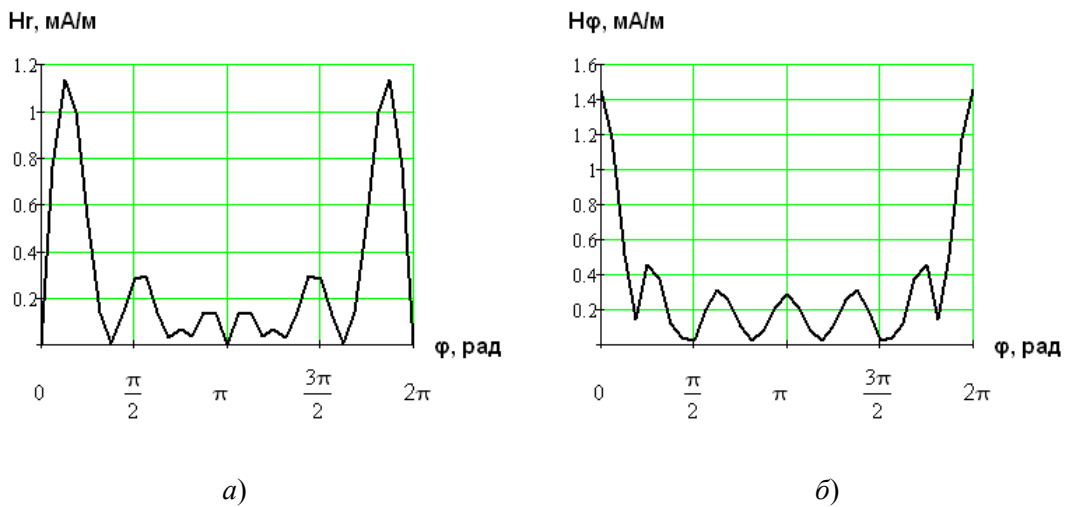


Мал. 6. Размеркаванне тока ў трубаправодзе: *a* – падоўжная неаднастайнасць; *б* – папярэчная неаднастайнасць

Падоўжная неаднастайнасць задаецца лінейнай функцыяй (мал. 6, *б*). Ток у трубе праваруч і леваруч ад неаднастайнасці пастаянны, а ў межах неаднастайнасці – лінейна залежыць ад падоўжнай каардынаты.

Рашэнне раўнанняў Максвэла дазваляе вызначыць усе складнікі напружанасці магнітнага поля ўсярэдзіне трубаправода. Для абодвух відаў неаднастайнасці разлічваліся радыяльны і азімутальны складнікі поля.

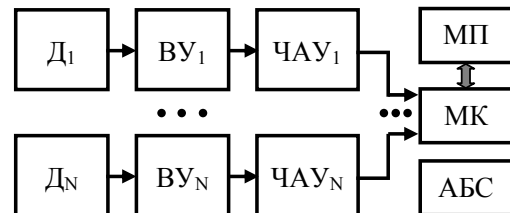
Паблізу неаднастайнасці току мае месца воплеск магнітнага поля ўсярэдзіне трубы, прычым розныя складнікі поля маюць розную залежнасць ад каардынаты. Гэта прадэманстравана на мал. 7, дзе прыведзены радыяльны і азімутальны складнікі напружанасці магнітнага поля паблізу сценкі трубы з токам, якія маюць папярэчную неаднастайнасць.



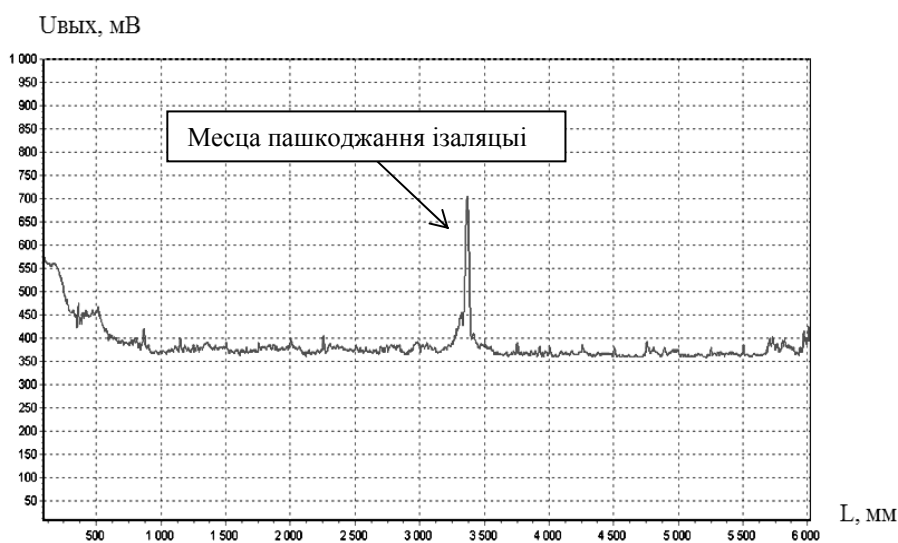
Мал. 7. Напружанасць магнітнага поля паблізу сценкі трубы:
a – радыяльны складнік, *б* – азімутальны

Для правядзення натуральных выпрабаванняў быў распрацаваны і выраблены кантрольна-вымяральны дыягнастычны снарад (мал. 8), які, акрамя кантролю ізаляцыі, ажыццяўляе гэтак сама кантроль унутранага профілю трубы і каардынатыны вымярэнні.

Натурныя выпрабаванні кантрольна-вымяральнага дыягнастычнага снарада на эксперыментальным палігоне ААТ «Гомельтранснафта Дружба» (мал. 9) паказалі магчымасць выкарыстання метада ў рэальных умовах.



Мал. 8. Кантрольна-вымяральны дыягнастычны снарад: *a* – знешні выгляд;
б – структурная схема модуля выяўлення пашкоджанняў ізаляцыі
 D_1 – D_N – датчыкі магнітнага поля; $B_{У1}$ – $B_{УN}$ – вымяральныя ўзмацняльнікі;
 $ЧАУ_1$ – $ЧАУ_N$ – частотнаабіральныя ўзмацняльнікі; МК – мікракантролер
 з убудаваным лічбавальнікам; МП – модуль памяці, які ўяўляе сабой flash-карты;
 АБС – аўтаномны блок сілкавання



Мал. 9. Дыяграма выходнага сігналу аднаго з вымяральных каналаў, датчыкі якіх эквідыстантна размеркаваны па адной акружнасці на знешняй паверхні кантрольна-вымяральнага дыягнастычнага снарада

Перспектыўныя распрацоўкі ў дадзеным накірунку будуць прадугледжваць распрацоўку метада ўнутрытрубнай дыягностыкі стану ізаляцыйнага пакрыцця на аснове вымярэння падзення напружання ўздоўж трубаправода, стварэнне і эксперыментальную праверку адпаведных вымяральных сродкаў. Пры гэтым плануецца выкарыстоўваць корпус наяўнага кантрольна-вымяральнага дыягнастычнага снарада з заменай датчыкаў і электронікі.

Спосаб і сродкі абмену інфармацыяй паміж рухомымі ўнутрытрубнымі і наземнымі прыладамі. Кіраваны ўнутрытрубны герметызатар. Для правядзення рамонтных работ на нафтаправодах выкарыстоўваюцца ўнутрытрубныя герметызатары (мал. 10) – прылады, якія дазваляюць скараціць аб'ём адпампаванай нафты перад правядзеннем рамонтных работ і, адпаведна, час простаю нафатранспартнай сістэмы [6]–[9].



а)

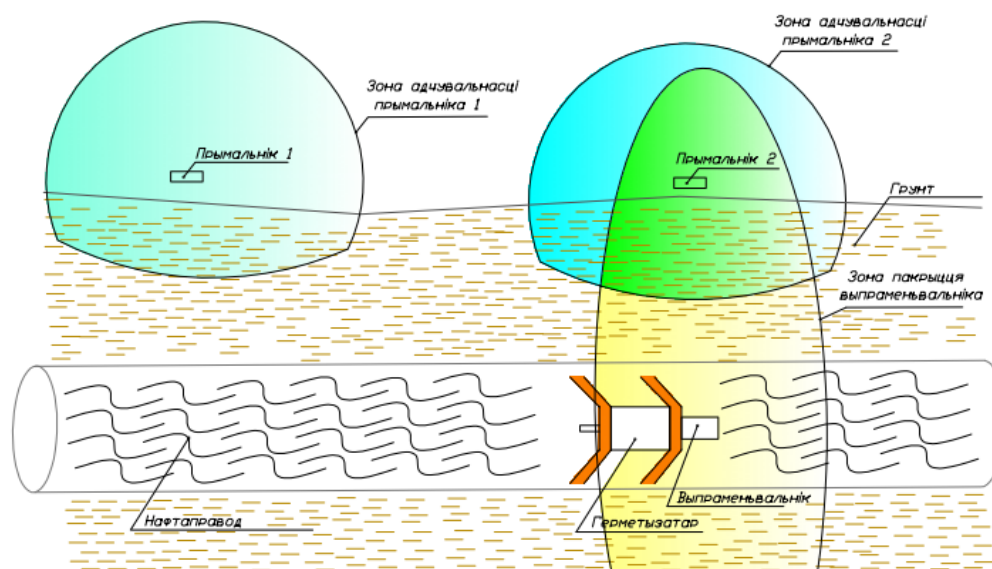


б)

Мал. 10. Кіраваны ўнутрытрубны герметызатар 17.153.00 00 DN800 (а), распрацаваны і зманціраваны на кафедры «Прамысловая электроніка» ГДТУ імя П. В. Сухога супольна са спецыялістамі аддзела эксплуатацыі ААТ «Гомельтранснафта Дружба»; выпрабавальная камера 17.156.00.00 ПС (б) для ўнутрытрубных і іншых прылад

Сістэма кіравання ўнутрытрубным герметызатарам (КУГ) 17.153.00 00 DN800, укаранёным ў пастаянную эксплуатацыю на ААТ «Гомельтранснафта Дружба», складаецца з двух частак – унутрытрубнай прылады, прызначанай для выпраменьвання сігнала ідэнтыфікацыі і выканання працэсу герметызацыі, і наземнай прылады, на якой прымаецца сігнал ідэнтыфікацыі (вызначэння месцазнаходжання) КУГ, і фарміруюцца каманды кіравання працэсам герметызацыі.

Для назірання за перамяшчэннем КУГ па нафтаправодзе ў цяперашні час адначасова выкарыстоўваюцца шумамеры (акустычныя), ультрагукавыя паказальнікі і сістэмы актыўнага суправаджэння ўнутрытрубных аб'ектаў (пошукавыя комплекты), якія працуюць у дыяпазоне частот 0–25 Гц [6]. Для пазіцыянавання герметызатара ў зададзенай кропцы выязная брыгада суправаджае ўнутрытрубны рухомы аб'ект на ўсім яго шляху. Перспектыўным з'яўляецца прыняццё суправаджэння герметызатара, адлюстраваны на мал. 11.



Мал. 11. Прынцып суправаджэння КУГ у падземным нафтаправодзе

Прымальныя прылады, усталяваныя на некаторай адлегласці адна ад адной, забяспечваюцца модулем GPS і GSM і/альбо Ethernet. Пры праходжанні герметызатара прымальныя прылады рэгіструюць сігнал і адпраўляюць даныя аб яго месцазнаходжанні на сервер. З дапамогай кліенцкай праграмы, усталяванай на камп'ютары, мабільным тэлефоне альбо планшэце, тэхнічны персанал, які абслугоўвае нафтаправод, атрымлівае аператыўныя даныя і прымае рашэнне аб запаволенні альбо поўным прыпыненні герметызатара шляхам кіравання значэннем ціску ў трубаправодзе. Пры дапамозе апісанага вышэй спосабу спрашчаецца працэдура суправаджэння ўнутрытрубнага аб'екта і павышаецца дакладнасць яго пазіцыянавання.

Літаратура

1. Импульсный стабилизатор анодного тока / С. М. Бодилковский [и др.] // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22–25 нояб. 2011 г. / Полоц. гос. ун-т ; под общ. ред. В. К. Липского. – Новополоцк, 2011. – С. 63–65.

2. Многоканальный стабилизатор анодного тока для станций катодной защиты трубопроводов / Л. А. Захаренко [и др.] // The civil protection '2011 : докл. 1 част Sixth scientific conference with international participation and exposition. – София : Акад. на МВР 2011. – С. 119–122.
3. Многоканальный стабилизатор анодного тока на основе импульсного преобразователя для электрохимической защиты трубопроводов / Ю. В. Крышнев [и др.] // Чрезвычайн. ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. / редкол. : А. Ю. Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 179–185.
4. Выбор оптимальной частоты измерительного сигнала для поиска мест повреждения изоляции трубопровода / Н. И. Вяхирев [и др.] // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22–25 ноября 2011 г. – Полоцк. гос. ун-т ; под общ. ред. В. К. Липского. – Новополоцк, 2011. – С. 192–194.
5. Меркурьева, И. А. Развитие методов диагностирования изоляционных покрытий нефтегазопроводов / И. А. Меркурьева. – М. : Недра, 1989. – 271 с.
6. The monitoring and control system of the intrapipe sealer / Y. Kryshneu [at al.] // ITELMS'2010 : Materials of 5th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems. – Panevezys, Lithuania, 2010. – P. 31–36.
7. Преимущества использования управляемого герметизатора для магистральных нефтепроводов / А. М. Бордовский [и др.] // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22–25 нояб. 2011 г. – Полоцк. гос. ун-т ; под общ. В. К. Липского. – Новополоцк, 2011. – С. 192–194.
8. Праектаванне бесправаднага канала сувязі для кіравання клапанам кіруемага ўнутрытрубнага герметызатара / Ю. В. Крышнёў [і інш.] // Весн. Гомел. дзярж. тэхн. ун-т імя П. В. Сухого. – 2012. – № 1. – С. 29–33.
9. Даследаванне праходжання сігналу праз сценку нафтаправода для сістэмы кіравання ўнутрытрубным герметызатарам / М. І. Вяхіраў [і інш.] // Весн. Гомел. дзярж. тэхн. ун-т імя П. В. Сухого. – 2015. – № 2. – С. 80–87.

УДК 620.9

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗМЕНЕНИЯ БЕЛОРУССКОГО
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА****Д. Р. Мороз***Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт Белгипротопгаз», г. Минск, Республика Беларусь*

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) Республики Беларусь находится в тесном взаимодействии с другими межотраслевыми комплексами. Его функционирование обеспечивается за счет использования машиностроительного, транспортного, строительного и других комплексов. С другой стороны, результаты работы ТЭК необходимы для обеспечения функционирования всех отраслей экономики Республики. В общем виде ТЭК можно представить в виде двух основных направлений:

- топливная промышленность (добыча, транспортировка и переработка топливных ресурсов, добываемых в Республике Беларусь и импортируемых из-за рубежа);
- электроэнергетическая промышленность (получение, преобразование и транспортировка основного энергетического носителя – электрической энергии).

Управление развитием ТЭК осуществляют Совет Министров Республики Беларусь, Министерство энергетики Республики Беларусь, государственные производственные объединения «Белэнерго», «Белтопгаз», концерн «Белнефтехим».

В начале образования независимого белорусского государства основными вызовами для развития ТЭК являлись: высокая зависимость от внешних поставок топливно-энергетических ресурсов и высокий уровень износа основных средств. Если решение второй проблемы оказалось возможным за счет реализации государственной политики по модернизации энергетической системы (степень износа основных средств сократилась с 70 до 35 %), то отсутствие достаточного количества собственных энергетических ресурсов делает зависимым функционирование всей национальной экономики от мировых цен на топливо.

Поэтому основными направлениями развития топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь в настоящий момент являются:

- повышение эффективности работы энергетической отрасли;
- повышение эффективности работы промышленности;
- ввод в эксплуатацию атомной электростанции;
- расширение использования топлива, добываемого на территории Беларуси;
- увеличение доли электрической энергии в топливно-энергетическом балансе страны.

Литература

1. Кундас, С. П. Возобновляемые источники энергии / С. П. Кундас, С. С. Позняк, Л. В. Шенец. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 315 с.
2. Государственное регулирование экономики в условиях Белорусской модели развития / под науч. ред. Н. В. Борсук, Л. П. Матюшковой. – Брест : БрГТУ, 2010. – 59 с.
3. Для реформирования энергетической отрасли Беларуси планируется разработать три законопроекта. – Минск. – 2013. – Режим доступа: <http://www.belta.by/economics/view/dlja-reformirovanija-energeticheskoj-otrasli-belarusi-planiruetsja-razrabotat-tri-zakonoproekta-135486-2010>.

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

УДК 62-231:621.9.04

**К ВОПРОСУ СИНТЕЗА КОМПОНОВКИ ЗАЖИМНОГО ПАТРОНА
МЕТОДОМ СТРУКТУРНЫХ ФОРМУЛ**

О. В. Литвин, И. Р. Ящук

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

Процесс проектно-конструкторской деятельности состоит из ряда последовательных этапов и начинается с определения потребности общества в приборе; формулировки цели и технического задания на прибор; поиска идей и концепции его общей функции; разработки структуры и технических принципов; выпуска технической документации на прибор, необходимой и достаточной для его изготовления и эксплуатации.

Для поиска новых конструкций зажимных патронов применяют дифференциально-морфологический метод синтеза, в котором для решения противоречий на стадии поиска используют эвристические приемы полного, неполного и комбинированного расчленения зажимного элемента, дифференцирующие и интегрирующие функции и поверхности, что дает различные основные и дополнительные эффекты, а при полном однонаправленном расчленении структуры синтезируемых патронов, что соответствует новым принципам зажима или обеспечивает новые качества. Согласно основному эффекту расчленения на стадии структурного синтеза выбирают несколько преимущественных структур по формализуемому критерию качества, отражающих основные требования к патрону, а затем проводят морфологический анализ схем с использованием приемов: перестановки, сочетания, установления последовательности работы и функции зажимных элементов и передаточно-усилительных звеньев, введения различных связей, выбора их места.

Поиск и разработка новых компоновок зажимных патронов может осуществляться с помощью анализа их структурных формул, состоящих из обозначений определяющих, альтернативных и детализирующих признаков. Для этого разработана многовариантная структура конструктивных и функциональных возможностей реализации зажимного патрона с использованием пяти иерархических уровней. Модель технической системы «Зажимной патрон» состоит из элементов: зажимной патрон ЗП00, привод ПР11, корпус К22, передаточно-усилительные звенья ПУ333, зажимные элементы ЗЭ44, установочные элементы УЭ55.

Формулы можно записывать так: сначала записываются буквы, определяющие движения ведущего звена, а после разделительного знака записывают движения ведомого звена к заготовке и установочным элементам. При этом учитывается альтернативность признака из числа возможных; одновременное применение определяющих признаков; применение признаков детализации в любом сочетании, потенциальная возможность его вариантности, еще не установленная на момент проектирования. Таким образом, перемещение элементов патрона описывается в со-

ответствии с установленной системой координат с указанием индексов относительности движений в обозначениях поверхностей.

Для поиска новых конструкций зажимных патронов можно применять результаты исследования структуры функций взаимодействия оснащения с закрепляемой деталью, что позволяет выделить из структуры конструктивно технологических решений зажимного патрона узлы, отвечающие за выполнение основных функций технологического процесса и определить перечень возможных функциональных модулей патрона. В результате может быть создана система функциональных модулей зажимного патрона, которые позволяют решить проблему формирования комплектов оснащения.

Дальнейшие исследования будут связаны с использованием взаимосвязи морфологии зажимного патрона с конструктивно-функциональным синтезом при использовании структурных формул. Предложен подход, который может быть эффективно использован при синтезе каких-либо зажимных патронов.

УДК 539.4

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

В. В. Коваль

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

Прочность и надежность элементов конструкций в первую очередь зависит от точности и адекватности уравнений состояния, которые описывают поведение материала с максимальным учетом истории термосилового эксплуатационного нагружения, которое, как известно, приводит к деградации физико-механических свойств материала. Данный момент не учитывается в существующих подходах к расчету элементов конструкций, что приводит к возникновению неточностей при оценке напряженно-деформированного состояния в опасных точках.

Ю. М. Работновым и Л. М. Качановым было введено понятие эффективных напряжений, которые учитывают деградацию свойств материала (его поврежденность), тем самым позволяя определить напряжения, которые в действительности возникают в конструкции. При этом в первом приближении параметр поврежденности может быть представлен в виде скалярной величины. Для реализации данного подхода необходимо определить кинетические уравнения накопления поврежденности, с помощью которых возможно будет представить параметр поврежденности как функцию величины деформации.

В представленной работе параметр поврежденности было предложено определять как изменение удельного сопротивления экспериментального образца. При этом были рассмотрены следующие металлические материалы: сплав Д16Т, сплав ВТ22, 18Х2Н4ВА, 15ХСНД, 07Х16Н6. Экспериментальные исследования по определению параметра поврежденности проводились на модернизированной установке УМЕ-10ТМ с модифицированным каналом измерения электросопротивления. В результате проведения экспериментов были получены полные кривые поврежденности для каждого из исследуемых материалов. Проведенный анализ полученных экспериментальных данных дал возможность установить тот факт, что полная кривая поврежденности может быть условно разделена на три участка, каждый из которых характеризуется различной скоростью накопления повреждений в материале. При этом

каждый участок полученной кривой может быть описан с помощью аналитических зависимостей, в которых поврежденность выступает функцией характеристик пластичности материала или функцией его деформации. Таким образом, полная кривая поврежденности может быть описана с помощью уравнения вида:

$$D_{\Sigma} = \begin{cases} D_{th} + D(\varepsilon) & \text{для } \varepsilon < \varepsilon_B; \\ D(\delta, (\varepsilon - \varepsilon_B)) & \text{для } \varepsilon > \varepsilon_B, \end{cases}$$

где D_{th} – значение поврежденности, которое соответствует пределу выносливости или пределу текучести материала, δ – относительное остаточное удлинение, ε_B – деформация, соответствующая пределу прочности. При этом были установлены зависимости величины поврежденности на уровне предела текучести и критического значения поврежденности, которое соответствует разрушению образца на уровне истинного сопротивления разрыву от характеристик пластичности материалов, которые могут быть легко определены для любого металлического материала.

Полученные результаты дают возможность оценить поврежденность для любой точки диаграммы деформирования, что в свою очередь позволяет уточнить существующие подходы к оценке напряженно-деформированного состояния.

УДК 539.34+620.1

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А. П. Грабовский, А. А. Бондарец

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

Основной задачей современного машиностроения является обоснование ресурса работы инженерных объектов на стадии их проектирования, оценка произведенного и прогноз остаточного ресурса в процессе эксплуатации объектов, продления срока службы после отработки объектами нормативного срока. В работе рассматривается оценка повреждаемости конструкций и сооружений при эксплуатационных нагрузках по дополнительным изменениям линейных и угловых деформаций, а также из-за деградаций модулей упругости при осевом нагружении E и при сдвиге G за счет кинетики накопления рассеянных повреждений.

Повреждаемость при осевом нагружении – D_{σ} и при сдвиге (кручении) – D_{τ} выражается отношениями:

$$D_{\sigma} = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}_i}{E_0}}; \quad D_{\tau} = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{G}_i}{G_0}}. \quad (1)$$

Показатели повреждаемости (1) можно выразить через остаточные деформации с помощью следующих зависимостей:

$$D_{\sigma} = 1 - \sqrt[1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_R} \right)^{\alpha}]; \quad D_{\tau} = 1 - \sqrt[1 - \varphi_{\tau} \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_R} \right)^{\beta}], \quad (2)$$

где $\varphi_{\sigma} = \frac{E_0 - \tilde{E}_R}{E_0}$, $\varphi_{\tau} = \frac{G_0 - \tilde{G}_R}{G_0}$ – коэффициенты, характеризующие изменения модулей упругости при осевом нагружении и кручении (сдвиге); $E_0, G_0, \tilde{E}_R, \tilde{G}_R$ – начальные и конечные модули упругости материалов на грани временного сопротивления; α, β – параметры пластичности материала; ε_i, γ_i – текущие величины осевых и угловых деформаций и их величины в момент разрушения – ε_R, γ_R .

Из уравнения (1) функции относительных линейных и угловых деформаций за счет кинетики накопления повреждений равны:

$$f(\varepsilon_i) = \varepsilon_R \sqrt[1 - (1 - D_{\sigma})^2 / \varphi_{\sigma}]; \quad f(\gamma_i) = \gamma_R \sqrt[1 - \varphi_{\tau} (1 - D_{\tau})^2 / \gamma_R}. \quad (3)$$

Те же функции при разрушении равны:

$$f(\varepsilon_R) = \varepsilon_R \sqrt[1 - (1 - D_{\sigma R})^2 / \varphi_{\sigma}]; \quad f(\gamma_R) = \gamma_R \sqrt[1 - \varphi_{\tau} (1 - D_{\tau R})^2 / \gamma_R}, \quad (4)$$

где $D_{\sigma R}$ и $D_{\tau R}$ – предельные величины повреждений в материале при осевой нагрузке и сдвиге в момент разрушения.

Функции текущих дополнительных относительных и угловых деформаций представим дробными показательными функциями отношения текущего времени эксплуатации t_i ко времени их разрушения t_R :

$$f\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon}\right) = \left(\frac{t}{t}\right) = f(t); \quad f\left(\frac{\gamma}{\gamma}\right) = \left(\frac{t}{t}\right) = f(t), \quad (5)$$

где n – коэффициент дробной показательной функции, что определяется кинетикой накопления повреждений в материале и зависит от его пластических свойств.

Из отношений (3)–(5) функции времени эксплуатации объектов по осевым и угловым деформациям выражаются отношениями:

$$f(t_{\sigma}) = \sqrt[n_{\sigma}]{\frac{1 - (1 - D_{\sigma i})^2}{1 - (1 - D_{\sigma R})^2}}; \quad f(t_{\tau}) = \sqrt[n_{\tau}]{\frac{1 - (1 - D_{\tau i})^2}{1 - (1 - D_{\tau R})^2}}; \quad (6)$$

$$0 \leq f(t_{\sigma}) \leq 1; \quad 0 \leq f(t_{\tau}) \leq 1.$$

В работе проведены сравнения экспериментальных и теоретических результатов кинетики накопления повреждений с остаточными линейными и угловыми деформациями и из-за деградаций модулей упругости E и G , также представлены результаты прогнозирования ресурса работы конструкций и сооружений из соответствующих материалов.

УДК 539.3

ВЫНУЖДЕННЫЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ДИСКОВОЙ ПИЛЫ ПРИ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

А. Е. Бабенко, Н. С. Равская, О. А. Боронко

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

В машиностроении широкое распространение получила отрезка заготовок дисковыми пилами. Кроме того, отрезные пилы являются одним из наиболее сложных инструментов с точки зрения динамического состояния в процессе отрезки заготовок. Это связано как с их конструкцией и способами закрепления на станке, так и самим процессом резания, вследствие которого возникают внешние периодические возмущающие силы при ударах зубьев фрезы в момент начала и окончания работы каждого зуба. С учетом того что корпус пилы по своей конструкции представляет собой тонкий диск с поднутрением, эти периодические возмущающие силы являются причиной потери устойчивости пилы и затирания ее по внешнему ободу. В этой связи возникает задача создания пил более совершенной конструкции, обеспечивающей как улучшенный срез стружки, так и более высокую устойчивость в процессе работы. Дисковые пилы, как правило, выполняются с постоянным шагом зубьев. Возможности дисковых пил с неравномерным шагом зубьев и криволинейным профилем стружечных канавок не определены. Исследования ряда инструментов, в том числе и фрез, показывают, что применение неравномерного шага зубьев и криволинейной формы стружечных канавок оказывает существенное влияние на вибрации при резании, стойкость инструмента, точность обработки и качество обработанных поверхностей. Поэтому разработка дисковых пил с криволинейным профилем стружечных канавок и неравномерным шагом зубьев является одним из перспективных направлений совершенствования этого инструмента. В процессе резания дисковой пилой возникают внешние периодические возмущающие силы вследствие удара зубьев пилы в моменты начала и окончания процесса резания каждого зуба. Поэтому в свете вышесказанного первичной проблемой является исследование вынужденных колебаний дисковой пилы. Задача о вынужденных колебаниях может быть решена путем разложения по собственным формам колебаний. Таким образом, приходим вначале к необходимости определения собственных частот и собственных форм колебаний дисковой пилы. В настоящей работе предлагается метод, основанный на вариационно-сеточном подходе. Известно, что в результате погрешности и сборки системы станок–пила–заготовка и деформирования этой системы имеют место смещение и поворот пилы относительно срединной плоскости пилы. Это приводит к изгибу пилы в результате контакта ее боковой поверхности с поверхностью реза. Благодаря поднутрению пилы этот контакт осуществляется по внешнему ободу, но внешний обод фактически состоит из вершин зубьев, поэтому рассматриваемое взаимодействие выражается в периодическом процессе изгибания пилы в результате ее вращения. Это периодическое взаимодействие фактически является кинематическим возбуждением поперечных колебаний пилы. Далее решалась задача о вынужденных колебаниях. При конструировании дисковой пилы частота вынуждающей силы обусловлена скоростью резания, количеством и формой режущих зубьев. В работе исследовано влияние неравномерности шага зубьев на динамическое поведение дисковой пилы и выведен критерий ее динамического состояния.

УДК 621.75

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Е. А. Польский, Ф. Д. Звягинцев

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
Российская Федерация

Каждый составляющий конструкторский размер формируется в процессе изготовления деталей либо непосредственно при получении заготовки, либо при последующей обработке (чаще всего механической со снятием припусков). Для этого детали определенным образом ориентируются относительно инструментов или неподвижных частей станков. При этом точность конструкторских размеров достигается различными технологическими методами: совмещением, постоянством или последовательной сменой баз [1], [2].

При обработке хребтовой рамы железнодорожного вагона основной особенностью является включение в анализ размерных связей компенсации теплового деформирования исходного полуфабриката в результате выполнения сварочных операций и сверления системы отверстий большого диаметра.

Из-за несимметричного расположения нагреваемой полосы для определения активного внутреннего усилия ограничим пластину условными боковыми связями (рис. 1). Эти связи не препятствуют деформациям вдоль оси пластины, но предотвращают явление изгиба от действия внутренних усилий в процессе нагрева и охлаждения средней полосы.

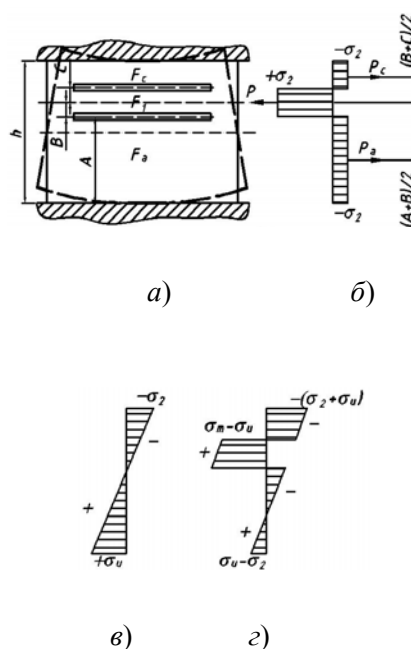


Рис. 1. Нагрев полосы, смещенной относительно центральной оси пластины:
 а – стальная пластина со смещенной полосой и боковыми ограничениями;
 б – эпюра остаточных напряжений; в – эпюра напряжений от изгиба пластины
 после удаления боковых ограничений; г – результирующие остаточные
 напряжения в пластине после снятия боковых ограничений

32 Секция I. Современные технологии проектирования в машиностроении

После охлаждения средней полосы остаточные напряжения в средней полосе равны пределу текучести, а напряжения сжатия в крайних полосах можно определить из условий равновесия, Па:

$$\sigma = \frac{\sigma F}{F - F} = \frac{\sigma b}{h - b}, \quad (1)$$

где F – поперечное сечение всей пластины; h – ширина пластины; b – ширина средней (нагреваемой) полосы.

Действие изгибающего момента уравнивается реактивным противодействием боковых ограничений. Если пластину освободить, то под действием момента она изогнется. Произойдет перераспределение напряжений в ее волокнах.

Напряжение от изгиба, Па:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\delta M}{\delta h} = \frac{3P(a - c)}{\delta h(h - b)}. \quad (2)$$

Прогиб пластины можно определить по формуле, м:

$$f = \frac{Ml}{8EJ} = \frac{Ph(a - c)l}{16(h - b)EJ}. \quad (3)$$

Для решения задачи технологического обеспечения требуемой точности сложных сварных заготовок, проходящих при изготовлении несколько этапов различных обработок, в частности, сварка основной конструкции, соединение с дополнительными элементами формированием неразъемных соединений и окончательная механическая обработка, необходимо решить ряд задач:

– формализация описания схемы сборки или ТП сборки с учетом выбранного метода обеспечения точности замыкающего звена, в частности, использование принципа наследования при формировании сборки с использованием автоматизированных систем (базовый принцип Pro/Engineer);

– определение (выявление) конструкторского параметра, определяющего работоспособность машины (узла) – на основе моделирования процесса кинематического взаимодействия (по кинематической схеме).

В результате объединения размерных цепей с учетом формирования каждого типа размеров могут быть назначены предельные отклонения исходных размеров [1], [5]:

$$T\Delta = \sum_i^n c_i T_{Si} + \sum_j^m c_j k_{\text{внут}_j} k_{\text{внеш}_j} k_{T\Delta_j} + \sum_k^l c_k k_{\text{внут}_k} k_{\text{внеш}_k} k_{\Delta_k} k_{T\Delta_k}, \quad (4)$$

где c – коэффициенты передаточных отношений; T_S – допуски технологических размеров; $k_{\text{внут}}$, $k_{\text{внеш}}$, k_{Δ} , $k_{T\Delta}$ – коэффициенты, формирующие допуски эксплуатационных размеров, соответственно, для внутренних и внешних факторов, долговечности, точности расчетной схемы, используемой для определения параметров эксплуатационных свойств.

Значения дополнительных эксплуатационных звеньев являются функциями, которые определяются внешними и внутренними факторами. К внешним факторам можно отнести условия эксплуатации: величину и характер нагрузки, скоростные режимы, планируемые долговечность, и др. К внутренним факторам – параметры, которые определяют эксплуатационные свойства сопряженных поверхностей: материал деталей, смазочные материалы, параметры качества поверхностного слоя и др.

Получены функции, описывающие дополнительные эксплуатационные звенья для разных типов сопряжений. Так, в плоском контакте сопряженных деталей и при наличии между ними небольших осциллирующих движений, например, вследствие вибраций, происходит изнашивание. Взаимное внедрение поверхностей в результате изнашивания приводит к самоустановке деталей. При этом величина внедрения U_1 и U_2 и возможный перекос поверхностей можно описать уравнением плоскости в пространстве:

$$U_1 + U_2 = \beta_1 x + \beta_2 y + U_{\min}, \quad (5)$$

где β_1, β_2 – коэффициенты уравнения плоскости, соответствующие тангенсам углов наклона плоскости износа к соответствующим осям; U_{\min} – минимальное сближение в контакте.

Л и т е р а т у р а

1. Безъязычный, В. Ф. Метод подобия в технологии машиностроения. – М. : Машиностроение, 2012. – 320 с. : ил.
2. Польский, Е. А. Технологическое обеспечение работоспособности узлов машин на основе анализа размерных параметров на этапах жизненного цикла с учетом их изменения в процессе эксплуатации / Е. А. Польский // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2014. – № 2 (32). – С. 38–48.

УДК 621.9.08

АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ НЕЖЕСТКИХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

С. В. Сорокин, К. Н. Пушкарев

*ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
Российская Федерация*

Основным элементом конструкции приспособления для формирования оптоволоконных шин является деталь «Колесо намоточное». При подготовке производства на этапах технологического обеспечения установленных заказчиком эксплуатационных параметров возникли сложности с их достижением. Одними из основных требований при изготовлении изделий типа «Колесо намоточное» является обеспечение заданных высоких показателей прямолинейности и плоскостности, а также точности взаимного расположения поверхностей тонкостенных нежестких деталей.

Создание аппаратного комплекса, решающего проблему технологического обеспечения требуемых геометрических и точностных параметров функциональных поверхностей обрабатываемых деталей на основе научно-обоснованного подхода к формированию требуемой величины компенсационного перемещения элементов оснастки или реализации нагружения с целью обеспечения начального изгиба детали с учетом физической модели процесса ее деформирования и технологических факторов в рамках подготовки производства, является важной научно-практической задачей в рамках технологической подготовки изготовления высокотехнологичных изделий.

Аппаратный комплекс предназначен для обработки данных по состоянию нежестких деталей или их элементов при установке заготовки в приспособление, в процессе обработки резанием или осуществлении сборочных операций. Комплекс реализует функцию активного контроля пространственных отклонений или контроля величины начального изгиба заготовки, обеспечивающего заданную геометрию обрабатываемой детали.

На основе информации о пространственных отклонениях при обработке и сборке изделия, полученных средствами моделирования процесса деформирования детали в среде CAE-модуля интегрированных САПР, вырабатывается корректирующий сигнал положения установочных опор и усилий закрепления зажимных элементов оснастки для обеспечения заданных параметров геометрической точности с учетом показателей качества изделия согласно конструкторской документации.

Основным фактором, обеспечивающим решение задачи технологического обеспечения требуемых параметров точности формы и размеров нежестких изделий, является его компенсационное деформирование с учетом физической модели и пространственной конструкции. Реализация предлагаемого аппаратного решения предполагает интеграцию в состав силового механизма закрепления детали АСНИ контроля величины изгиба для корректировки нагружающего воздействия и действительного пространственного расположения поверхностей детали для получения ее заданной формы.

Аппаратный комплекс будет использоваться на установке по обработке высокотехнологичных нежестких деталей типа «Колеса намоточного». В этой связи существуют определенные компоновочные ограничения для проектируемого аппаратного комплекса. Кроме этого, на основе физической модели деформации детали определены прочностные параметры отдельных конструктивных элементов, а на основе имитационной модели изгиба установочных поверхностей подобраны параметры силового компенсационного механизма.

Литература

1. Сорокин, С. В. Конструкторско-технологическая подготовка изготовления и сборки высокотехнологичных изделий / С. В. Сорокин // Технология – оборудование – инструмент – качество : материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: Б. М. Хрусталева (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Бизнесофсет, 2014. – 224 с. – С. 22–24.

УДК 621.9.01/02

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПРИНТЕРА

Н. Н. Попок, С. А. Портянко, А. С. Максимчук, Г. И. Гвоздь

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

Развитие современного машиностроения характеризуется расширением номенклатуры выпускаемых изделий. Это требует использования многофункционального станочного оборудования и технологической оснастки, обеспечивающих механическую обработку резанием различных элементов и поверхностей на одном рабочем месте. Проектирование такого оборудования и оснастки ведется на основе взаимозаменяемых модулей. Отечественное машиностроение и инструментальное обеспечение стремятся использовать максимально унифицированные модули, что позволяет сократить затраты на изготовление и эксплуатацию оборудования и оснастки, в частности, на кафедре «Технологии и оборудования машиностроительного производства» УО «Полоцкий государственный университет» разработана гамма блочно-модульных режущих инструментов: резцов, фрез, расточных головок и патронов и т. д.

Традиционный подход в сборке многоэлементных конструкций характеризуется высокой трудоемкостью и длительностью. Трудоемкость при этом может составлять 18–45 % трудоемкости изготовления всей конструкции. Для уменьшения

длительности и трудоемкости, а также повышения качества сборных конструкций рекомендуется механизировать сборочные операции широким применением ручного механизированного инструмента или автоматизировать эти операции за счет применения промышленных роботов.

Однако данные методы не приемлемы при изготовлении пробных или экспериментальных партий многоэлементных режущих инструментов, поэтому в данной работе представлены результаты применения технологий послойного синтеза, реализуемых на современных 3D-принтерах. Данный метод позволяет сократить до 50–75 % времени на изготовление и/или сборку режущего инструмента за счет того, что самым трудоемким будет являться не процесс изготовления и сборки изделия, а его конструирование в САД-системах, поддерживающих системные требования принтера. На основании исследований уже выпускаемых торцовых фрез была разработана конструкция блочно-модульной торцовой фрезы обтекаемой формы с учетом исключения недостатков, которые были выявлены у прототипа во время испытаний. 3D-модель фрезы, выполненная в программном продукте Solid-Works, представлена на рис. 1, а. Фреза, полученная технологией послойного синтеза по 3D-модели, представлена на рис. 1, б.



Рис. 1. Блочно-модульная торцовая фреза обтекаемой формы

В результате выполненной работы оценены технические возможности создания блочно-модульной торцовой фрезы «обтекаемой» формы с использованием современной технологии 3D-печати. Изготовлен экспериментальный образец фрезы.

УДК 621.91.01/02

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ И УНИВЕРСАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Н. Н. Попок, Р. С. Хмельницкий, В. С. Анисимов, Г. И. Гвоздь

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

Современное развитие металлообработки направлено в сторону увеличения скоростей резания, так как это сокращает время обработки, а следовательно, и снижает себестоимость. Обработка на токарных станках с ЧПУ цилиндрических поверхностей деталей на традиционных режимах резания не вызывает затруднений, а вот обработка сферических поверхностей деталей имеет ряд особенностей. Эти затруднения присущи и фрезерованию сферических поверхностей. К особенностям точения и фрезерования сфер относятся постоянно изменяющиеся скорость резания, подача и углы в плане лезвия режущего инструмента.

Эти особенности существенно влияют на качество получаемой сферической поверхности. Так, при обработке сферической поверхности диаметром 37 мм на токарном станке с ЧПУ с частотой вращения $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ и подачей $S_o = 0,2 \text{ мм/об.}$ была получена сферическая поверхность с шероховатостью от Ra 1,6 до Ra 6,3 мкм. Причем можно выделить пять условных участков, которые изображены на рис. 1.

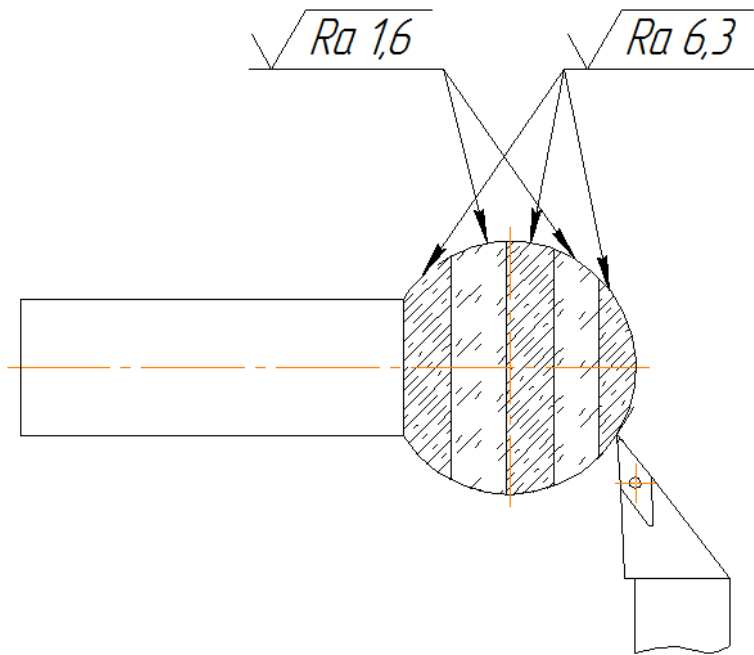


Рис. 1. Участки и значения шероховатости сферической поверхности при обработке на токарном станке с ЧПУ

Полученные значения шероховатости на участках можно объяснить изменяющимися в процессе обработки величинами скорости резания, подачи и углами в плане лезвия режущего инструмента. Эти изменения можно учесть в программе управления процессом обработки. Например, изменение значения угла в плане ϕ компенсировать изменением величины подачи $S_o = f(Rz, \phi)$.

Обработка сферической поверхности на токарном станке с ЧПУ сопоставлялась с возможностями фрезерования сферы на универсальном шлифовально-заточном станке.

Таким образом, в результате исследований установлена закономерность изменения шероховатости сферы при обработке на токарном станке с ЧПУ, что позволяет обеспечить требуемые значения шероховатости путем изменения скорости и подачи перемещения токарного резца. А также доказана возможность получения более низкой шероховатости поверхности сферы при обработке охватывающим фрезерованием по сравнению с токарной обработкой.

УДК 621.9.02

ФИЗИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЗЬБЫ В РЕГУЛИРОВОЧНЫХ МЕХАНИЗМАХ РАСТОЧНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

А. А. Герасимов, Н. Н. Попок, А. В. Сидикевич

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

Унификация отдельных элементов режущих и вспомогательных инструментов позволяет создавать инструментальные системы для оснащения станков с ЧПУ и ГПС, которые могут быстро и просто перенастраиваться.

Недостатками сборных инструментов являются их пониженные жесткость и точность по сравнению с цельными инструментами. Для увеличения точности используют элементы для регулирования размеров инструментов [1], [2].

При проектировании нового расточного инструмента с микрометрической настройкой лезвий было выявлено, что на величину люфтов в резьбовом соединении и их выборку влияют параметры разрезных пазов на корпусе втулки и усилия предварительного ее сжатия или расклинивания (для предания предварительного натяга) [3].

На начальном этапе были созданы трехмерные твердотельные модели разрезных втулок и винта в программе SolidWorks, после проведения анализа которых с помощью МКЭ можно сделать предварительные выводы о приемлемости данного вида компенсации люфтов в резьбовом соединении.

В ходе эксперимента на реальной модели втулки расклинивались и сжимались, а затем при ввинчивании и вывинчивании винта замерялся крутящий момент, возникающий в резьбовом соединении.

Выяснилось, что моменты возникают при ввинчивании винта в расклиненную втулку при недостаточной глубине паза. Приемлемые моменты наблюдаются при равной ширине и шаге пазов и в промежутке значений от одного до двух шагов резьбы. Жесткость втулок уменьшается с увеличением глубины паза и ширины пазов во втулках (рис. 1).

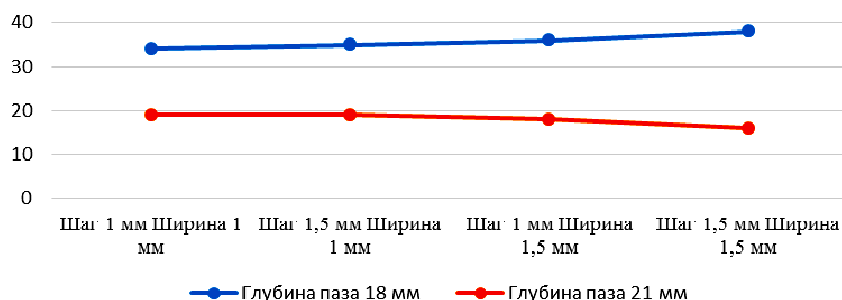


Рис. 1. Зависимость жесткости от параметров втулок

Литература

1. Кожевников, Д. В. Режущий инструмент : учеб. для вузов / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов ; под ред. С. В. Кирсанова. – 3-е изд. – М. : Машиностроение, 2007. – 528 с. : ил.
2. Расточная головка : пат. 2349426 РФ, МПК В23В29/034.

3. Herasimau, A. Cartridge toolholders and boring heads for high-precision holes treatment / A. Herasimau, N. Papok // Materials of VI junior researcher's conference, 2012. – P. 91–94.

УДК 621.83.06

СФЕРИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилев, Республика Беларусь

Передачи с промежуточными телами качения (ППТК) обладают низкой материалоемкостью и высокой нагрузочной способностью, так как передача мощности осуществляется по множеству параллельных потоков (тел качения). Для снижения радиальных и осевых габаритов редуктора разработана ППТК сферического типа, кинематическая схема которой показана на рис. 1. Центры масс тел качения перемещаются по траекториям, расположенным на сферических поверхностях.

Передача состоит из ведущего вала 1, на котором имеется наклоненный кривошип 2. На кривошипе установлен генератор 3 с возможностью вращения вокруг собственной оси. На наружной поверхности генератора в цилиндрические отверстия 4, расположенные с равномерным шагом, установлены ролики 5. Ролики имеют сферические концы 6, которыми они контактируют с периодической замкнутой беговой дорожкой 7. Дорожка образована двумя сферическими кулачками 8 и 9, закрепленными в корпусе 10. В конструкции передачи имеется механизм 11 передачи (съема) вращательного движения со сферически движущегося генератора 3 на ведомый вал 12.

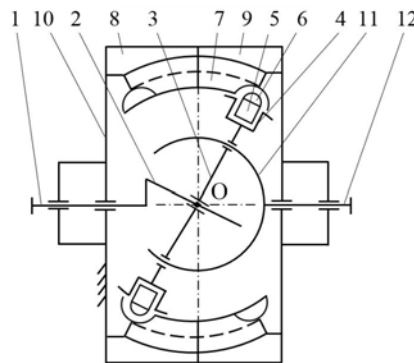


Рис. 1. Кинематическая схема сферической ППТК

При вращении ведущего вала вращается установленный на нем кривошип. Он вынуждает генератор совершать сферическое движение относительно неподвижной точки О. Сферические концы роликов перемещаются по беговой дорожке 7. Ролики имеют возможность вращаться относительно своих осей в отверстиях генератора, благодаря чему скольжение частично заменяется качением, сопровождающимся меньшими потерями мощности. Механизм передачи вращательного движения на ведомый вал может быть выполнен в виде карданного шарнира, угловой муфты и т. д. Кинематические параметры движения ведомого вала зависят от числа периодов Z беговой дорожки 7. Разработан экспериментальный образец редуктора с передаточным отношением $i = 6$.

Литература

1. Лустенков, М. Е. Механизм с изменяющимся углом между осями валов / М. Е. Лустенков, Е. С. Фитцова // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2014. – № 1. – С. 46–50.

УДК 621.91.04

**ОЦЕНКА НОВЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ
ПО СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ**

Н. Н. Попок, А. В. Сидикевич, Е. В. Бритик

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

Проведенный анализ соотношения затрат стандартизованного инструмента по группам, используемого на предприятиях, позволил сделать вывод, что подавляющую часть затрат (около 90 %) составляют затраты на инструмент для обработки резанием. При этом, рассматривая затраты по группам инструментов, можно выделить три лимитирующих группы, которые составляют основной процент затрат предприятия, – резцовый, фрезерный и сверлильный. Большие затраты несут предприятия и при использовании абразивного и ручного инструмента. Однако в настоящее время применяемость абразивного и ручного инструментов снижается. Это связано с появлением новых прогрессивных лезвийных инструментов из новых инструментальных материалов, работающих с большими скоростями, и возможностью замены традиционных слесарных операций на дополнительный технологический переход на многофункциональном обрабатывающем центре. Как следствие, это приводит к переводу механической обработки абразивным инструментом к обработке лезвийными (резцовым, фрезерным, осевым) инструментами. Увеличение количества технологических переходов с применением такого инструмента приводит к повышению потребности в лезвийном инструменте и увеличению программы и серийности его выпуска. Таким образом, процент применяемости стандартизованного инструмента для обработки резанием со временем непрерывно растет.

Это свидетельствует о необходимости создания автоматизированной экспертной системы, которая позволяла бы проводить оценку целесообразности перераспределения затрат на инструмент при изготовлении изделий.

Подтверждает эту необходимость и очевидная схожесть распределения затрат по специальному инструменту для обработки резанием, специальному инструменту вспомогательному и специальным средствам измерения и контроля линейных и угловых величин, которая ведет к необходимости рассмотрения в основном тех же самых трех групп специальных инструментов.

В Полоцком государственном университете ведется разработка автоматизированной экспертной системы для анализа режущих инструментов по показателю степени сложности. Предлагаемая экспертная система основывается на следующих принципах:

- введение ограничительного перечня типоразмеров, параметров и технологических процессов с учетом их наибольшей применяемости в производстве;
- использование показателя степени сложности, включающего конструктивные, технологические и функциональные признаки (параметры);
- применяемый показатель степени сложности должен основываться на нормативных документах и действующих стандартах. При необходимости может быть разработан новый стандарт;
- показатель степени сложности связан с экономическими показателями;

– показатель степени сложности должен учитывать современные тенденции развития техники и помогать оценить эффективность того или иного режущего инструмента.

Применение автоматизированной экспертной системы на машиностроительных предприятиях позволит сократить затраты на проектирование и изготовление режущих инструментов.

УДК 621.833.16

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕТЬ
ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНОГО РЕДУКТОРА**

В. М. Пашкевич, М. Н. Миронова

*ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилев, Республика Беларусь*

Проектирование радиально-плунжерных редукторов возможно на основе использования компьютерных программ, использующих технологии искусственного интеллекта. Для эффективного расчета радиально-плунжерных редукторов требуются знания о взаимосвязях между его параметрами, выявление которых возможно на основе подхода, базирующегося на функциональных семантических сетях.

Функциональные семантические сети представляют собой логическую схему, описывающую функциональные взаимосвязи между аргументами совокупности математических зависимостей. В качестве такой совокупности выступают аналитические зависимости, связывающие параметры редуктора и представленные в виде отношений:

$$f(P_1, \dots, P_j, \dots, P_k) = 0,$$

где P_1, P_j, P_k – параметры функциональной семантической сети.

Функциональные семантические сети позволяют осуществлять поиск параметров радиально-плунжерных редукторов на основе решения задачи многофакторной оптимизации. Оптимизация размеров редуктора в рассматриваемом случае сводится к тому, чтобы, используя функциональные зависимости, определить значения параметров, при которых обеспечивались бы минимальные массогабаритные показатели проектируемой системы.

В результате проведенного анализа конструкции одноступенчатого радиально-плунжерного редуктора с муфтовым присоединением приводного электродвигателя были определены параметры и математические отношения, на основе которых построена функциональная семантическая сеть, позволяющая определять размеры, обеспечивающие наименьшую удельную массу редуктора.

Разработанная функциональная семантическая сеть, представляет собой совокупность 64 отношений, указывающих на существование определенных зависимостей между значениями 83 параметров проектируемой системы. Учет взаимосвязей такого количества факторов между собой позволяет более обоснованно подходить к процедуре проектирования радиально-плунжерных редукторов с наилучшими показателями.

При решении задач на функциональной семантической сети определяются подсистемы отношений, у которых выявляются входные и выходные параметры, что приводит к преобразованию их в соответствующие функции, образующие цепочки функций.

При этом для каждой поставленной задачи определяется индивидуальная подсистема отношений и формируется соответствующая цепочка функций, позволяющая выполнять расчет любых параметров радиально-плунжерного редуктора.

Возможность преобразования функциональных семантических сетей в последовательность вычисляемых функций позволяет автоматизировать процедуру поиска параметров проектируемой системы, обеспечивающих снижение ее массогабаритных показателей.

Таким образом, результаты исследований позволили на основе применения семантических сетей выявить функциональные взаимосвязи конструктивных параметров редуктора с его удельной массой, что обеспечивает построение эффективных алгоритмов поиска рациональных параметров радиально-плунжерных редукторов, используемых в компьютерных программах.

УДК 620.178

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ НЕЖЕСТКИХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

Н. В. Зинькевич, А. П. Крень

Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

В настоящее время в республике эксплуатируется большое количество потенциально опасного оборудования (трубопроводы, сосуды высокого давления, краны, металлоконструкции), которое практически выработало назначенный изготовителем ресурс. Дальнейшее использование такого оборудования возможно только после обоснованной оценки его технического состояния и продления остаточного ресурса.

Измерение твердости таких конструкций зачастую является единственным неразрушающим способом оценки их состояния, где применение стандартных твердомеров не представляется возможным. Однако проблема контроля таких конструкций заключается в их недостаточной жесткости. Прогиб конструкции в месте контроля в значительной мере искажает истинные значения твердости при расчетах.

В докладе представлен метод динамического индентирования, позволяющий контролировать физико-механические характеристики широкого класса материалов без их разрушения. Преимуществом данного метода является возможность получения кинетических диаграмм непрерывного вдавливания индентора. Эти диаграммы позволяют проследить процесс непрерывного деформирования материала конструкции во времени на стадии нагружения в упругопластической области и при разгрузке. Результатом одного измерения этим методом является комплекс механических характеристик материала в области контроля. Непосредственно по результатам измерений определяется условная твердость материала. Перевод условной твердости в единицы НВ проводится по данным предварительной тарировки.

В работе с помощью численного моделирования методом конечных элементов выполнен анализ ударного взаимодействия индентора твердомера и нежесткой конструкции в виде трубы и консольно закрепленной пластины. Материал индентора принимался абсолютно жестким, а трубы и пластины – упругопластическим. Диапазон предупредительных скоростей выбран от 0,5 до 3 м/с. Толщина стенки трубы варьировалась от 4 до 8 мм, внутренний диаметр 150 мм. Толщина пластины менялась от 1 до 7 мм. Предел текучести принимался равным 250, 500 и 1000 МПа.

Анализ влияния локальной деформации и прогиба на результаты измерений позволил выделить вклад локальной деформации в общий отклик конструкции на приложенное ударное воздействие. Было установлено, что активный этап удара (этап, на котором индентор внедряется в материал) является менее чувствительным к нежесткости конструкции. Определены дальнейшие направления исследований с целью получения инвариантных к нежесткости параметров, позволяющих контролировать твердость с достаточной точностью.

Литература

1. Kunkun, Fu. On the determination of representative stress–strain relation of metallic materials using instrumented indentation / Fu Kunhun, Li Chang / Materials and Design. – 2015. – Vol. 65. – P. 989–994.
2. Luo, J. A study on the determination of plastic properties of metals by instrumented indentation using two sharp indenters / J. Luo, J. Lin / International Journal of Solids and Structures. – 2007. – Vol. 44, № 18–19. – P. 5803–5817.
3. Guangyong, Sun Determination of mechanical properties of the weld line by combining micro-indentation with inverse modeling / Sun Guangyong, Xu Fengxiang // Computational Materials Science. – 2014. – Vol. 85. – P. 347–362.

УДК 620.178

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ЛОКАЛЬНОГО
ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

В. А. Рудницкий, А. П. Крень, Г. А. Ланцман

Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

В настоящее время создание новых технологий проектирования и методов обработки материалов неразрывно связано с созданием средств неразрушающего контроля. В докладе представлен метод динамического индентирования, позволяющий контролировать физико-механические характеристики широкого класса материалов без их разрушения. Метод заключается в ударном внедрении индентора в испытуемый материал под действием однократного ударного импульса, создаваемого посредством специального разгонного устройства или силы тяжести и расчете физико-механических характеристик (твердости, модуля упругости) по данным силовой диаграммы нагружения.

В работе показано, что величины статической и динамической твердости могут отличаться по величине вследствие того, что измерения проходят при различных скоростях вдавливания. При этом скорость деформации зависит от свойств материала (например, вида кристаллической решетки) и условий испытаний (например, температуры, формы индентора). Для установления связи между динамической и статической твердостью были проведены исследования на образцах из различных металлов: углеродистой стали, меди, алюминии, латуни, бронзе, титане.

По результатам работы было предложено использовать зависимость вида (1) для определения динамической твердости при условии одинаковых значений деформации:

$$H_d = H_s + K \cdot \ln(\dot{\epsilon}_d / \dot{\epsilon}_s). \quad (1)$$

Формула (1) содержит коэффициент K , имеющий размерность напряжения, который является функцией свойств контролируемого металла [1], а также его кристаллической структуры [2]. Результаты экспериментов показали, что диапазон изменения $\ln(\dot{\epsilon}_d / \dot{\epsilon}_s)$ является довольно узким и находится в пределах 12,55–13,52. Среднее значение которого можно принять равным 12,9. Среднее значение коэффициента K для сталей, рассчитанного по формуле (1), равнялось для латуни – 50,73, меди – 14,06; алюминия – 2,71 МПа.

Также было установлено, что динамический коэффициент $\gamma = H_d / H_s$ растет с уменьшением твердости, что объясняется увеличением величины пластической деформации, повышающей сопротивление динамическому вдавливанию индентора, и приближается к единице при высокой твердости.

Таким образом, в работе было показано, что превышение динамической твердости над статической может быть описано с помощью коэффициента динамичности, представляющего собой функцию свойств материала и условий испытаний, а на основании экспериментальных исследований предложена методика перевода динамических чисел твердости в общепринятые – статические по шкале Бринелля.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. Проект T16-013 «Разработка физических основ контроля твердости материалов конструкций, имеющих ограниченную жесткость, методом динамического локального деформирования».

Л и т е р а т у р а

1. Степанов, Г. В. Сопротивление металлов динамическому внедрению индентора / Г. В. Степанов, Э. Г. Сафаров // Проблемы прочности. – 1986. – № 5. – С. 80–83.
2. Brian, J. Koepfel. Dynamic indentation hardness of metals / J. Koepfel Brian // GhatuSubhash // IUTAM Symposium on Micro and Macro structural Aspects of Thermoplasticity / The series Solid Mechanics and its Application. – Vol. 62. – P. 447–456.

УДК 62-233.21/.22

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ МАТЕРИАЛА И МЕТОДА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ КОЛЕЦ

В. И. Врублевская, М. В. Анисеева

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

Разработанные подшипники скольжения самосмазывающиеся (ПСС) торцово-прессового деформирования (ТПД) способны работать в режиме самосмазки в абразивно-агрессивных и влажных средах [1].

Целью работы является проведение серии испытаний для установления перспективности использования иных марок сталей, упрочненных различными видами термообработки в качестве материала для внутренних колец ПСС ТПД.

С учетом условий работы данных подшипников к выбору материала для внутренних колец подшипников должны предъявляться соответствующие требования. Материал внутреннего кольца должен обладать высокой твердостью, износостойкостью, контактной выносливостью, прочностью, определяющими способность детали противостоять статическим и динамическим нагрузкам.

Исходя из условий эксплуатации подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессового деформирования в качестве материала для внутренних колец были выбраны конструкционные стали, применяемые при производстве ответственных деталей в машиностроении – Сталь 45Х и Сталь 18ХГТ взамен Стали 45.

Перед проведением экспериментов образцы из Стали 45Х обрабатывались объемной закалкой при температуре нагрева 850 °С с охлаждением в масле и низким отпуском при температуре нагрева 200 °С.

Испытуемые образцы из Стали 18ХГТ обрабатывались цементацией при температуре нагрева $T_n = 940$ °С и времени выдержки $t = 7$ ч, закалкой при температуре нагрева $T_n = 840$ °С, низким отпуском при температуре нагрева $T_n = 200$ °С в течение $t = 2$ ч.

Величина твердости внутренних колец из Стали 45Х и из Стали 18ХГТ составила 54–57 НРС. Высокие значения твердости свидетельствуют о том, что поверхность внутренних колец ПСС будет износостойкой.

Для установления триботехнических характеристик были проведены эксперименты на машине трения СМТ-1, предназначенной для испытания материалов на износ и трение. Триботехнические испытания проводились по схеме «вал – частичный подшипник» [2].

Экспериментальные данные показали, что внутренние кольца из Стали 45Х ПСС не способны работать при больших скоростях скольжения $v = 1$ м/с и нагрузке $N = 300$ Н, в отличие от колец из Стали 18ХГТ. Однако внутренние кольца из Стали 45Х способны выдерживать максимальную нагрузку $N = 400$ Н только при скорости скольжения $v = 0,5$ м/с, а внутренние кольца из Стали 18ХГТ при скорости скольжения $v = 0,75$ м/с. Возможно, такая работоспособность ПСС ТПД с внутренними кольцами из Стали 18ХГТ обусловлена наличием в составе материала таких легирующих элементов, как хром, марганец и титан. Данные присадки придают материалу твердость, износостойкость поверхности, прочность, коррозионную стойкость.

Литература

1. Невзорова, А. Б. Подшипники скольжения на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика) : монография / А. Б. Невзорова [и др.] ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 254 с.
2. Богданович, П. Н. Трение и износ в машинах / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак. – М. : Высш. шк., 1999. – 374 с.

УДК 620.178.152.22.05

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. И. Цырлин, М. В. Аникеева

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

Существуют различные методы определения твердости материалов. Наиболее распространено определение статической твердости на твердомерах Бринелля, Роквелла, Виккерса путем вдавливания в испытуемый материал, соответственно, шарика, конуса, пирамиды [1].

Однако эти методы позволяют устанавливать твердость только пластичных материалов и плохо применимы для измерения твердости полимеров, древесины, резины, тонких покрытий, обладающих высокой эластичностью и низкой твердостью.

Предлагаем использовать специально разработанное устройство для определения твердости вышеуказанных материалов.

Устройство состоит из корпуса, направляющей, индентора, индикатора, стойки, грузов различной массы (рис. 1). Твердость образцов определяется в зависимости от глубины внедрения закаленного индентора конической формы непосредственно в момент приложения нагрузки.

Данное приспособление позволит определить твердость покрытий толщиной от 20 мкм при нагрузке на образец до 500 г. Точность измерения глубины отпечатка – 0,01 мм.

Твердость будет определяться в МПа по формуле

$$H = \frac{P}{S_{\text{бок}}},$$

где P – общая нагрузка от индентора и грузов, Н; $S_{\text{бок}}$ – площадь поверхности отпечатка в виде конуса, мм².

$$S_{\text{бок}} = \pi RL = \pi h \operatorname{tg} \alpha \frac{h}{\cos \alpha} = \pi h^2 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha} = \pi h^2 \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \pi h^2 \frac{\sin 60^\circ}{\cos 60^\circ} = 5,438h^2,$$

где R – радиус основания, мм; $R = h \operatorname{tg} \alpha$; L – длина образующей конуса, мм;
 $L = \frac{h}{\cos \alpha}$; h – глубина отпечатка, мм.

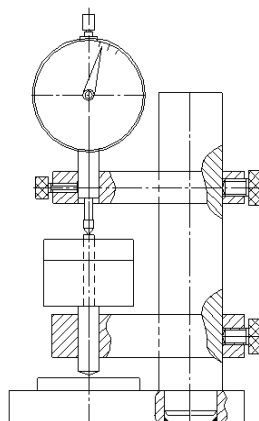


Рис. 1. Устройство для определения твердости эластичных материалов

Таким образом, данное приспособление позволит определить твердость эластичных материалов.

Литература

1. Попов, А. Н. Основы материаловедения / А. Н. Попов, В. П. Казаченко. – М. : Изд-во Гривцова, 2010. – 175 с.

УДК 621.762

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ РОЛИКО-КОЛЬЦЕВЫХ МЕЛЬНИЦ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА

А. К. Гавриленя, И. А. Богданович

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Республика Беларусь

Получение высокодисперсных порошковых материалов является весьма энергозатратным процессом. Одними из высокопроизводительных и энергоэффективных измельчителей являются ролико-кольцевые мельницы.

Теоретические исследования [1] показали возможность увеличения на 19 % силы, действующей на измельчаемую частицу в случае снижения влияния силы трения

скольжения в месте контакта размольных колец с пальцами роторной головки ролико-кольцевой мельницы. Данное мероприятие позволит уменьшить износ размольных колец и пальцев мельницы, что также положительно отразится на химической чистоте продуктов размола.

Анализ конструкции ролико-кольцевой мельницы RTM4 показал, что вращение пальцев возможно при их установке в роликовых радиальных игольчатых однорядных подшипниках. Также для устранения затора продуктами размола выходного патрубка мельницы RTM4 было принято решение об установке нижнего фланца конической формы.

На рис. 1 показана модернизированная конструкция роторной головки ролико-кольцевой мельницы RTM4.

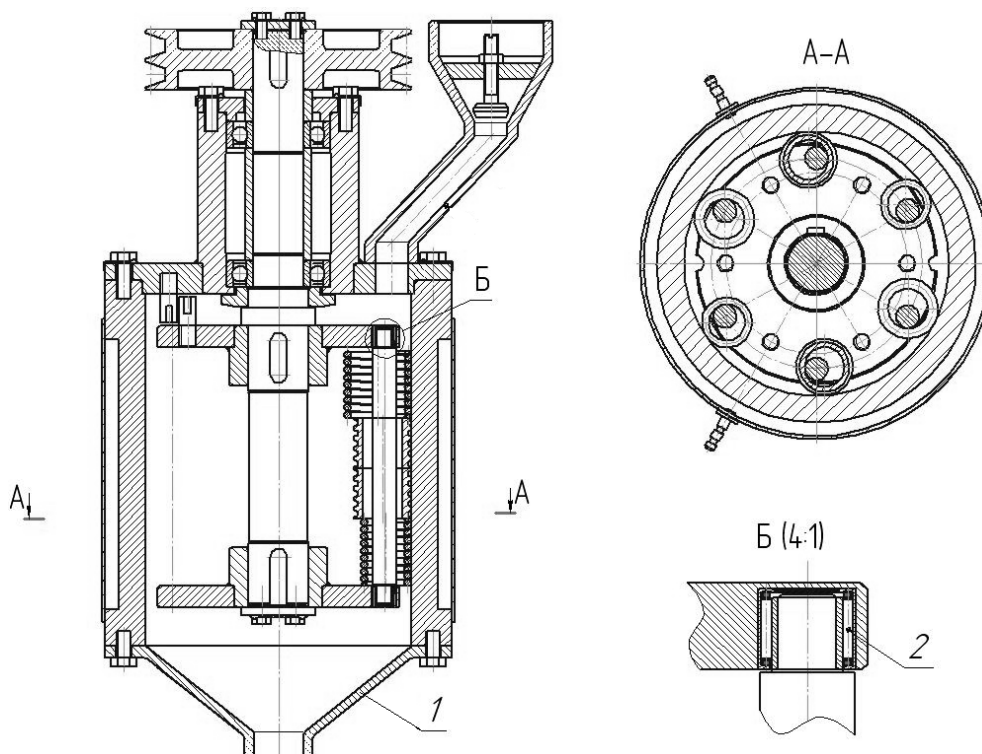


Рис. 1. Модернизированная конструкция роторной головки ролико-кольцевой мельницы RTM4: 1 – фланец; 2 – роликовый радиальный игольчатый однорядный подшипник

Литература

1. Кустинский, А. В. К вопросу уменьшения энергопотребления ролико-кольцевых мельниц центробежного типа / А. В. Кустинский, А. К. Гавриленя // Содружество наук. Барановичи–2016 : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Барановичи, 19–20 мая 2016 г. / УО «БарГУ», Барановичи, 2016. – Ч. 2. – С. 126–128.

УДК 631.354.2.076

**ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ДИФFUЗОРАХ ВЕНТИЛЯТОРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ
В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

И. А. Баран

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

Важнейшим в технологическом тракте зерноуборочного комбайна является система очистки. Ее задача сводится к минимизации потерь за комбайном и загрязненности зерна в бункере. Добиться этого возможно путем оптимального распределения воздушных потоков в системе очистки.

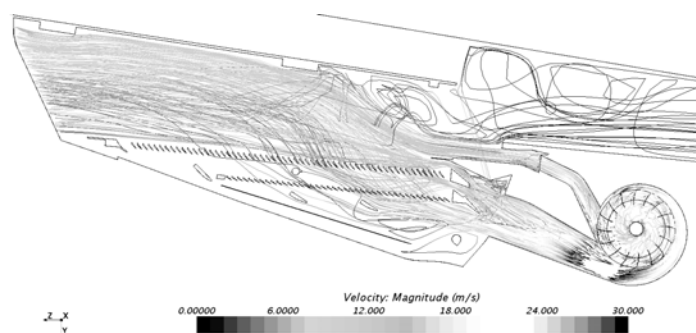


Рис. 1. Линии тока с распределением скоростей аэродинамического потока в системе очистки перспективного зерноуборочного комбайна

Объектом исследования является система очистки зерноуборочного комбайна. Отличительной особенностью данной системы очистки является наличие дополнительного раструба, направляющего аэродинамический поток между каскадами стрясной доски. В связи с этим возникает необходимость равномерного распределения по длине и ширине системы решет.

Моделирование осуществлялось с помощью специализированных конечнообъемных программных комплексов. Движение воздуха создается вращением лопаток вентилятора, ограниченных диффузорами.

В результате исследований проведен расчет и сравнительный анализ расчетных параметров воздушного потока в системе очистки зерноуборочного комбайна при различных конструктивных изменениях регулируемых элементов в диффузорах вентилятора.

Решена задача более равномерного распределения скоростей воздушного потока по длине и ширине очистки за счет применения регулируемых элементов, которые позволяют направить поток необходимым образом. Выработаны рекомендации по изменению конструкции.

Литература

1. Численное моделирование на основе программного пакета STAR-CD аэродинамических потоков с целью выявления ударных волн в турбокомпрессоре / А. М. Крот [и др.] // Авиадвигатели XXI века : материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Москва, ЦИАМ, 6–9 дек. 2005 г. – Т. 1. – С. 339–340.

2. Вырский, А. Н. Внедрение в процесс проектирования методики компьютерного моделирования и анализа аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна / А. Н. Вырский, И. А. Баран / Актуальные вопросы машиностроения : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – С. 130–133.
3. Исследование плоских ударных волн в турбокомпрессоре на основе аэродинамического компьютерного моделирования в программном пакете STAR-CD / В. А. Балдин [и др.] // Информатика. – 2005. – № 4 (8). – С. 5–12.

УДК 631.355.4

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ВАЛЬЦОВ ПОЧАТКООЧИСТИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА КОМБАЙНА КП-4

Ю. В. Булавко

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

В технологиях уборки и переработки кукурузы главным является процесс очистки початков. Рассматривая початкоочиститель в качестве главного элемента початкоуборочного комбайна, необходимо отметить, что улучшение его работы обеспечивает качественное улучшение технологического процесса в целом. В то же время при разработке и выпуске новой сельскохозяйственной техники перед конструктором стоит задача максимального сбережения сырьевых, топливных и энергетических ресурсов на этапах производства, переработки и использования сельскохозяйственной продукции.

Объектом исследования являются металлические вальцы сплошного сечения початкоочистительного устройства комбайна КП-4. В качестве материала для вальца был выбран высокопрочный чугун ВЧ45. Он обладает хорошей жидкотекучестью. Из чугуна можно получить отливку с тонкими стенками. Если металл растекается медленно, то из него тонкостенная отливка не получится: он застынет, прежде чем заполнятся все извилины формы. По сравнению с серыми чугунами, механические свойства высокопрочного чугуна выше. Для определения оптимальных параметров сечения вальца необходимо выполнить прочностной расчет вальца сплошного сечения для случая попадания початка кукурузы между парой вальцов, заклинивании чугунного вальца и срабатывании предохранительной муфты [1]. Определив опасное сечение вальца, используя четвертую гипотезу прочности (предельного состояния), можно вычислить запас прочности [2]. Для данных конструкций достаточно иметь двойной запас прочности. Найдя разницу между осевым моментом сопротивления при расчетном и двойном запасе прочности, можно определить диаметр отверстия вальца.

Полученные параметры сечения вальца позволяют значительно снизить его массу и массу всего початкоочистительного устройства, валец выдерживает такие же нагрузки, как и валец сплошного сечения, и при этом сохраняются такие важные факторы, как надежность и долговечность устройства.

Л и т е р а т у р а

1. Леликов, О. П. Валы и опоры с подшипниками качения. Конструирование и расчет : справочник / О. П. Леликов. – М. : Машиностроение, 2006. – 640 с.
2. Старовойтов, Э. И. Сопротивление материалов : учеб. пособие для студентов техн. вузов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 219 с.

УДК 631.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА В ВЫГРУЗНОЙ СИСТЕМЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Д. Н. Иванов

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

В сельскохозяйственном комбайностроении важное место занимает оптимизация технологических процессов транспортировки сыпучих материалов. К таким процессам относится перемещение зерновой массы шнеками из бункера в транспортное средство. Поэтому особое место в разработке конструкции устройства транспортировки сыпучих материалов занимает виртуальное моделирование данного технологического процесса, позволяющее исследовать сложное поведение частиц, наблюдение за которыми на реальном оборудовании невозможно. Применение технологий виртуального моделирования позволяет оптимизировать технологический процесс, ставя при этом цель – повышение производительности, снижение энергоёмкости, уменьшение дробления и микроповреждений зерна, а также изменение конструкции в сторону минимизации массы конструкции при выполнении данного технологического процесса транспортировки сыпучего материала.

Виртуальное моделирование не заменяет натуральных испытаний, но на этапе разработки конструкции, когда прототип еще отсутствует, позволяет промоделировать процесс и на основании полученных данных принять решения по оптимизации конструкции. После того как прототип изготовлен и испытан, виртуальная модель окончательно проходит валидацию. После этого дальнейшая доводка конструкции может выполняться в основном средствами виртуального моделирования, принципиально сокращая сроки разработки, требуемое количество прототипов и испытаний.

Метод виртуального моделирования технологического процесса является обобщением метода конечных элементов и основан на представлении сыпучего материала как совокупности отдельных частиц, движущихся и взаимодействующих между собой согласно классическим законам Ньютона (учитывается гравитация, трение, отскакивание) и Кулона (в случае наличия электростатического взаимодействия). Взаимодействие между частицами сыпучего материала рассчитывается уравнениями Ньютона и Эйлера. Описание виртуальной модели состоит из описания размерно-массовых характеристик частиц сыпучего материала, параметров контакта, фрикционных свойств внутреннего взаимодействия частиц между собой и частиц с контактирующими поверхностями и прочего.

На основании описанного метода виртуального моделирования проведено исследование технологического процесса выгрузки зерна в выгрузной системе зерноуборочного комбайна.

По результатам виртуального моделирования выгрузной системы зерноуборочного комбайна проанализировано поведение зерновой массы в проточных и переходных областях технологического тракта. По результатам расчета выявлены зависимости между геометрическими параметрами системы, таких как: шаг витков, диаметр витков, рабочий зазор между витками шнека и корпусом, геометрическая форма переходной области между шнеками. По результатам анализа внесены изменения в модель, связанные с конфигурацией шнека и геометрическими параметрами между неподвижными и движущимися элементами конструкции. Таким образом,

моделирование сыпучих материалов на микроуровне дает возможность предсказать их макроповедение, анализировать влияние различных параметров технологического процесса выгрузки зерна.

Литература

1. Красниченко, А. В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / А. В. Красниченко. – М., 1961. – Т. 1. – 655 с.

УДК 621.85.058:631.35

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ
РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ С АВТОМАТИЧЕСКИМ
НАТЯЖЕНИЕМ РЕМНЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИНАХ**

А. А. Калиновский, Д. В. Джасов

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

В машиностроении широкое применение получило использование ременных передач в качестве элементов механической трансмиссии. Это обусловлено относительной простотой конструкции, неприхотливостью к условиям эксплуатации, низкой динамической нагруженностью трансмиссии и многими другими факторами. Наиболее широкое применение получили клиноременные передачи, которые за счет большей удельной мощности, передаваемой рабочим элементом привода (ремнем), позволяют существенно уменьшить габариты привода. Во многом успех при эксплуатации ременной передачи зависит от правильного выбора параметров на этапе проектирования.

Объектом исследования являются клиноременные передачи сельскохозяйственных машин с автоматическим натяжением [1]. Для подбора параметров механизма автоматического натяжения ременную передачу целесообразно описать в виде замкнутого векторного контура, который состоит из векторов ветвей и векторов, направленных от центров вращения шкивов к точкам встречи и схода ремня [2]. Данный метод позволяет легко формализовать нахождение суммы моментов сил, действующих на натяжной ролик, и величины натяжения ремня с учетом изменения его длины в заданном диапазоне. Основой данного метода является вычисление необходимой величины изменения потенциальной энергии пружины в заданном диапазоне ее деформации.

При работе ременной передачи рычаг совершает качательное движение вокруг точки качания с частотой вращения контура ремня. Поэтому при проектировании передач необходимо проводить оценку пар трения по напряжениям в зоне трения, скорости скольжения и удельной мощности трения. На скорость скольжения влияет размах колебаний рычага за один оборот ремня. Для определения размаха рычага необходимо воспользоваться записью крутящего момента на валу ведомого шкива. Вычислив по этим моментам упругую деформацию ведущей ветви ремня, можно определить крайние положения рычага ролика. Зная скорость скольжения в паре трения, зная реакцию в опоре, вычисленное по ней напряжение в зоне скольжения и полученную путем перемножения этих параметров удельную работу трения, можно подобрать ее геометрические параметры и материал пары трения для гарантированного обеспечения ее работоспособности за весь срок службы.

Использование представленного энергетического метода подбора упругого элемента для натяжения ремня подпружиненным роликом позволяет на начальном этапе проектирования с большой точностью осуществить подбор пружины. Метод

определения скорости скольжения в зоне пары трения позволяет с достаточной степенью адекватности вычислить скорость скольжения при качании рычага натяжного ролика и, зная эту скорость, вычислить все необходимые параметры для оценки работоспособности пары трения.

Представленная информация позволяет существенно увеличить надежность эксплуатации ременных передач, применяемых в сельскохозяйственных машинах.

Л и т е р а т у р а

1. Чупрынин, Ю. В. Сравнительный анализ предельной тяговой способности клиноременных передач с различными способами натяжения ремня, применяемых в сельскохозяйственном машиностроении / Ю. В. Чупрынин, О. В. Рехлицкий, А. А. Калинин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2015. – № 4 (33). – С. 36–41.
2. Чупрынин, Ю. В. Алгоритм расчета геометрии ременного контура векторным способом / Ю. В. Чупрынин, А. А. Дюжев // Тракторы и с.-х. машины. – 2005. – № 6. – С. 39–40.

УДК 631.35

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОСТА УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС КОСИЛКИ САМОХОДНОЙ

А. Н. Кондрашова, Д. В. Джасов

*Научно технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь*

Одним из наиболее важных и ответственных узлов самоходной косилки, обеспечивающим ей необходимые ходовые свойства, является мост управляемых колес. Он представляет собой качающуюся балку, установленную в шарнире, который расположен на раме машины. За счет качания моста управляемых колес в поперечном направлении обеспечивается копирование рельефа поля. За счет механизма поворота рулевой трапеции осуществляется согласованный поворот колес косилки в обе стороны.

Объектом исследования является мост управляемых колес высококлиренсной самоходной косилки. Отличительной особенностью конструкции управляемого моста косилки является большой клиренс, который необходим для укладки скошенной технологической массы между колесами. Из-за этой конструктивной особенности возникла необходимость взаимного расположения элементов механизма поворота колес в разных плоскостях, а также организации большой длины шкворней поворота колес. В связи с этим возникает необходимость оптимизации конструкции с целью обеспечения минимальной материалоемкости управляемого моста с одновременным обеспечением его жесткости и прочности для различных режимов эксплуатации косилки.

Сформированы наиболее опасные режимы нагружения и проведен анализ напряженно-деформированного состояния элементов управляемого моста, полученного путем исследования его твердотельной модели в конечно-элементном пакете.

Формирование вариантов режимов нагружения проводилось с помощью кинематического и силового анализа рычажного механизма поворота колес по методике, приведенной в литературе [1].

Таким образом, сформированные режимы нагружения позволяют с достаточной долей адекватности оценить работоспособность моста управляемых колес косилки в условиях максимально возможной нагруженности. Полученная модель напряженно-деформированного состояния моста управляемых колес для различных режимов эксплуатации позволяет провести всесторонний анализ конструкции и сформировать рекомендации по ее совершенствованию.

Для совершенствования конструкции моста управляемых колес предложено внести следующие изменения в конструкцию моста:

- изготовить балку моста из профиля переменного сечения с наибольшей величиной в центральной части в районе шарнира качания;
- увеличить ширину проушин крепления осей гидроцилиндров на балке и обеспечить плавный переход к балке для снижения локальных напряжений по бокам;
- для крепления гидроцилиндра на кулаке применить ось с дополнительным переходом диаметра, в виде фланца, для обеспечения ее приварки к кулаку на большем диаметре.

Как показали полевые испытания опытного образца косилки, мост управляемых колес, рассчитанный по сформированным режимам нагружения, обеспечивает выполнение возложенных на него функций с достаточным уровнем надежности.

Литература

1. Рехлицкий, О. В. Математическое описание механизма поворота колес самоходной сельскохозяйственной машины / О. В. Рехлицкий, Ю. В. Чупрынин, Д. В. Джасов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2 (27). – С. 23–29.

УДК 621.774.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КАЛИБРОВ РАСКАТНОГО СТАНА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ РАСКАТКИ

Ю. Л. Бобарикин, Я. И. Радькин

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

Процесс раскатки гильз на раскатном стане характеризуется сложным деформационно-кинематическим и напряженно-деформированным состоянием очага деформации, влияющим на износ валков и нагрузку на прокатные клетки.

Цель работы – с помощью исследования напряженно-деформированного состояния очага деформации оптимизировать процесс раскатки труб определением геометрии калибров трехвалкового непрерывного раскатного стана, снижающей износ рабочей поверхности валков.

Для этого необходимо:

1. Провести численный эксперимент процесса раскатки труб с различной геометрией калибров.
2. Проанализировать полученные результаты моделирования и определить оптимальные размеры калибров, характеризуемые повышенной равномерностью напряжений, что повлечет за собой снижение износа калибров и увеличение равномерности нагрузки на клетки.

Для решения поставленных задач был применен способ численного моделирования методом конечных элементов. Была разработана новая калибровка для получения профиля трубы $70 \times 6,3$ мм из стали 20Г2 и проведен ряд численных экспериментов процесса раскатки гильз с новой и действующей калибровкой валков. Новая калибровка позволяет снизить пиковые значения напряжений в очагах деформации и более равномерно распределить участки с максимальными напряжениями по поверхности калибров (рис. 1, а), что должно привести к снижению местного износа рабочей части валков. Так же при использовании новой калибровки более равномерно распределяются нагрузки, действующие на клетки (рис. 1, б).

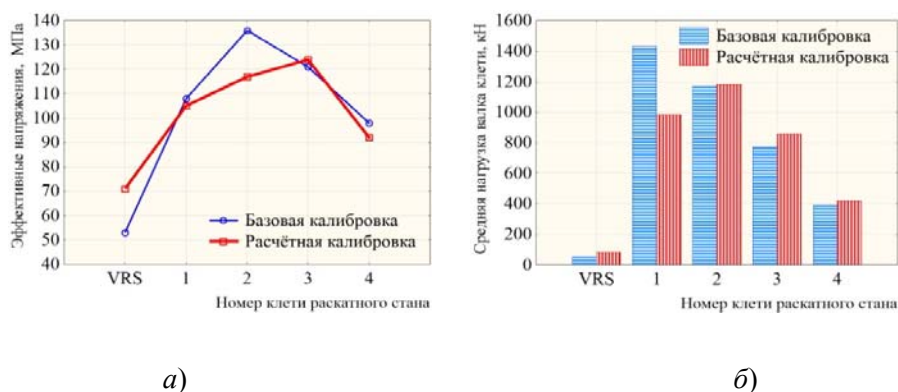


Рис. 1. Результаты численного моделирования:
 а – эффективные напряжения в очагах деформации каждой клетки, МПа;
 б – средние нагрузки, действующие на клетки раскатного стана

Таким образом, разработана калибровка валков для раскатки профиля трубы $70 \times 6,3$ мм, позволяющая повысить равномерность напряжений в очаге деформации и нагрузки на валки, снизить износ валков.

УДК 621.521

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ И МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХРОТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ РОТОРОВ

Д. Л. Стасенко, М. И. Петченко

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

Теоретический момент сопротивления или потребная мощность двухроторного вакуумного насоса зависят от геометрических размеров роторов и перепада давлений, который они испытывают.

Целью настоящей работы является разработка методики определения мощности и момента сопротивления двухроторного вакуумного насоса с циклоидальным профилем роторов.

Полную мощность, потребляемую двухроторным вакуумным насосом, можно определить по формуле [1]:

$$N = N_i + N_{\text{мех}}, \quad (1)$$

где N_i – внутренняя (индикаторная) мощность двухроторного вакуумного насоса, Вт; $N_{\text{мех}}$ – механическая мощность, Вт.

Применение методики расчета потребной мощности двухроторного вакуумного насоса с помощью индикаторной мощности усложняет задачу по расчету параметров насоса. Поэтому определение потребной мощности целесообразно проводить с помощью силового метода.

Момент сопротивления M_c для двузубого ротора, где радиус основной окружности $R_0 = 4r$, определяется:

$$M_c = \frac{\Delta PL}{2} R_0^2 (2,5 - \cos^2 \alpha) \eta, \quad (2)$$

где r – радиус ролика описывающего профиль ротора; $\Delta P = P_H - P_B$ – среднее значение перепада давления на профиле ротора, Па; P_H – давление нагнетания, Па; P_B – давление всасывания, Па; L – длина рабочей части ротора, м; α – угол, определяющий координаты профиля ротора по основной окружности; η – КПД двухроторного вакуумного насоса.

Потребную мощность двухроторного вакуумного насоса можно определить по формуле

$$N_e = M_c \omega = \frac{\Delta PL}{2} R_0^2 (2,5 - \cos^2 \alpha) \omega \eta, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость, рад/с.

В результате была разработана методика определения мощности и момента сопротивления двухроторного вакуумного насоса с циклоидальным профилем роторов.

Литература

1. Механические вакуумные насосы / В. Д. Лубенец [и др.]. – М. : Машиностроение, 1980. – 52 с.

УДК 62-822

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ОДНОПОТОЧНЫХ СИСТЕМАХ С ОБЪЕМНОЙ И КЛАПАННОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ

А. А. Гинзбург¹, Д. Л. Стасенко²

¹ОАО «Гомельское специальное конструкторско-техническое бюро
гидропневмоавтоматики», Республика Беларусь

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

Гидросистемы с адаптацией к нагрузке (в литературе часто именуется LS-системами) обеспечивают снижение потерь мощности в гидроприводе с одновременным независимым управлением несколькими рабочими органами до приемлемого уровня за счет использования давления на наиболее нагруженном исполнительном органе для управления входным давлением гидросистемы. Для этого гидропривод оснащается контуром выбора наибольшего давления и устройством, поддерживающим постоянную разность давлений между этим давлением и входным давлением гидросистемы. В качестве этого устройства может использоваться либо регулируемый насос (объемная адаптация к нагрузке) (рис. 1, а), либо гидроклапан разности давлений (клапанная адаптация к нагрузке) (рис. 1, б).

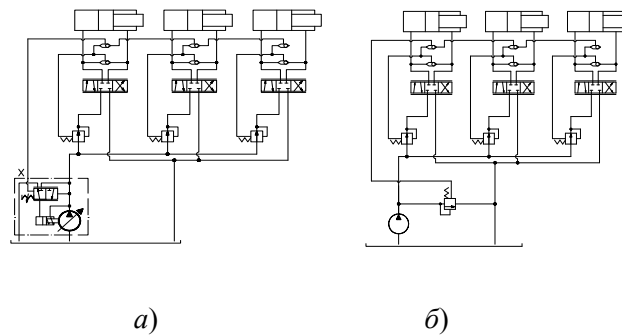


Рис. 1. Принципиальные гидравлические схемы гидросистем:
а – с объемной; б – клапанной адаптацией

Традиционно считалось [1], что по уровню потерь мощности системы с объемной адаптацией безусловно превосходят однопоточные системы с клапанной адаптацией. Однако при этом не учитывались факторы различного уровня разности давлений, поддерживаемого современным гидрооборудованием в гидросистемах обоих типов, а также диапазона регулирования расходов в гидросистеме.

Целью настоящей работы является сравнение относительных потерь мощности в гидравлических системах с объемной и клапанной адаптацией к нагрузке и определение влияющих на них факторов. Для этого были проведены уточненные расчеты уровня потерь мощности для гидросистем обоих типов и анализ их параметров. На основе предыдущих исследований [2] было показано, что потери мощности в гидросистеме с объемной адаптацией к нагрузке не превосходят потери в гидросистеме с клапанной адаптацией, только при выполнении условия:

$$Q_0 / \sum_{i=1}^n Q_i \geq 1 + \frac{\Delta p_{LSO} - \Delta p_{LSK}}{p_0},$$

где Q_0 – подача насоса; Q_i – расход на i -м исполнительном органе; p_0 – максимальное давление в гидросистеме; Δp_{LSO} и Δp_{LSK} – разность давлений, настроенная, соответственно, в гидросистеме с объемной и клапанной адаптацией к нагрузке.

На основе полученного результата был проведен анализ влияния давлений и настроенных расходов на сравнительные потери мощности и выработаны рекомендации по применению объемной и клапанной адаптации для различных случаев.

Л и т е р а т у р а

1. Klotzbücher, W. Energieverluste in Hydrauliksystemen von Ackerschleppern. Grundlagen der Landtechnik / W. Klotzbücher // Bd. 34. – 1984. – Nr. 6.
2. Гинзбург, А. А. Критерии выбора параметров исполнительных органов гидроприводов с адаптацией к нагрузке / А. А. Гинзбург, В. В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2007. – № 3 (30). – С. 38–44.

УДК 62-82-112.6(083.13)

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. В. Пинчук, С. Ф. Андреев

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

На настоящий момент приоритетным направлением в методологии конструирования гидроблоков управления (ГУ) является блочный способ монтажа и агрегатно-модульная система его построения. Элементная база агрегатно-модульных ГУ включает: блоки присоединительные (БП), соединительно-монтажные модули (СММ), блоки распределителей (БР) и блоки замыкающие (БЗ).

При сборке агрегатно-модульных ГУ присоединительные блоки крепятся болтами к соединительно-монтажным модулям с четырех боковых сторон, а затем модули и блоки распределителей стягиваются между собой и замыкающими блоками шпильками, образуя единый пакет. Этот пакет может располагаться или на станции, или непосредственно возле исполнительных механизмов. Блоки комбинируют таким образом, чтобы их каналы обеспечивали минимальные гидравлические потери давления в них. Однако решение этой задачи представляет определенные трудности из-за вариативности структурных решений при конструировании ГУ. Одна и та же принципиальная гидросхема ГУ может быть реализована в «металл» с помощью различных блоков, каждый из которых имеет цену, массогабаритные и расходные характеристики, т. е. перед конструктором стоит задача выбора из множества вариантов ГУ оптимального. Критерием оптимальности служит минимальная стоимость ГУ при выполнении заданных требований, налагаемых конструкцией гидрофицированной машины.

Оптимальность спроектированного ГУ выражается условием:

$$f(l) = \sum_{i=1}^n g r_i x_i \rightarrow \min; \sum_{i=1}^n g s_i x_i \supset S; x_i = 0 \vee 1; i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где $f(l)$ – множество вариантов ГУ; g – коэффициент повторяемости; r – стоимость i -го блока; s – состав i -го блока; x – булевы переменные.

Целью инженерного синтеза является поиск структурного решения ГУ, удовлетворяющего условию (1). При этом структура должна отражать расположение элементов в пространстве и их гидравлические соединения между собой, что позволит установить детерминированную логическую связь: ПС \rightarrow сборочный чертеж ГУ. То есть для каждой новой принципиальной гидросхемы требуется разработка своей модели ГУ. Фактически речь идет здесь о множестве математических моделей, которые названы обобщенными моделями.

Затем требуется при заданной принципиальной гидросхеме определить значение S -номенклатуры и количество входящих в ГУ компонентов, а также порядок их соединения, выбрать вариант ГУ минимальной стоимости с обеспечением требований со стороны комплектуемой машины.

Учитывая изложенное, минимизация гидравлических потерь давления в каналах СММ при конструировании ГУ является актуальной задачей, требующей определения структуры каналов СММ, позволяющей выбрать вариант минимальной стоимости его установки.

Использование полученных нами результатов минимизации гидравлических потерь давления в каналах СММ позволяет находить оптимально-компромиссные решения при построении СТС и, таким образом, оптимизировать агрегатно-модульные ГУ технологического оборудования по структуре и параметрам.

УДК 658.512.011.56

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ САПР ТП

А. В. Петухов

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

Развитие систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) и постоянное появление на рынке новых систем этого класса актуализирует задачу разработки методики оценки оптимальной системы, исходя из условий эксплуатации и требований заказчика.

Оценка предполагает комплексное исследование систем, включающее качественную и количественную оценки.

В основу методики качественной оценки положена теория выбора и принятия решений, которая исследует математические модели этого вида деятельности.

В данном случае имеется множество альтернатив принятия решений в виде набора САПР ТП, представленных на рынке. Задача сводится к выделению из него некоторого подмножества, а в идеале – единственной САПР ТП, на основе представления о ее качестве, характеризующемся принципом оптимальности. Рассматриваемые альтернативы обладают многими свойствами, оказывающими влияние на решение. Классификация и присвоение определенного ранга набору этих свойств является задачей предпроектного обследования условий эксплуатации системы и требований заказчика. В том случае если в результате обследования не предложена определенная система оценки альтернатив, предлагается оценивать их по трехбалльной системе. Наивысший балл присваивается, если все поставленные тесты по оценке свойства выполняются. Частичное выполнение оценивается как удовлетворительное (2 балла), и невыполнение тестов выносит оценку «плохо» (1 или 0 баллов). Расчет оценок каждой альтернативы по всему множеству свойств позволяет определить показатель общей эффективности. Альтернатива, имеющая наибольшую величину показателя общей эффективности, может рассматриваться как оптимальная на исследованном множестве альтернатив САПР ТП.

Количественная оценка альтернативы определяется предварительным расчетом годового экономического эффекта от внедрения САПР ТП. В упрощенном виде он определяется как разность суммарной годовой экономии заработной платы технолог-проектировщиков за счет повышения производительности их труда при внедрении системы и суммарных затрат на внедрение системы.

Результаты проведенного исследования легли в основу выбора САПР ТП для выполнения лабораторных работ по одноименной дисциплине.

Описанная методика может использоваться проектными организациями при оценке САПР ТП на стадии, предшествующей проведению тендера на закупку вышеназванной системы.

Л и т е р а т у р а

1. Петухов, А. В. Диагностический анализ на стадии предпроектного исследования / А. В. Петухов // Тракторы и с.-х. машины. – 1990. – № 2. – С. 21–22.

2. Петухов, А. В. Моделирование принятия решений при выборе методов автоматизации технологической подготовки производства опытных образцов кормоуборочной и зерноуборочной техники / А. В. Петухов // Современные проблемы машиноведения : сб. ст. / под ред. А. С. Шагиняна. – Гомель : ГГТУ, 2000. – Т. II. – С. 70–73.

УДК 631.3: 519.863

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА НАВЕСКИ
КОМБАЙНА САМОХОДНОГО КОРМОУБОРОЧНОГО КСК-600**

В. Б. Попов, А. В. Голопятин

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

В качестве объекта параметрической оптимизации предлагается четырехточечный механизм навески (МН) КСК-600, агрегатируемый с разными адаптерами. Перевод адаптера в вертикальное положение выполняется одновременно двумя симметрично расположенными подъемными механизмами, внутренние параметры которых определяются по результатам синтеза МН.

В результате моделирования процесса подъема адаптера была получена математическая модель (ММ) анализа свойств МН. Результаты анализа движения нагруженного поршня гидроцилиндра МН показывают, что: в диапазоне изменения обобщенной координаты основное передаточное число (ПЧ) МН плавно увеличивается; в установившемся режиме приведенная к поршню нагрузка прямо пропорциональна ПЧ МН, если пренебречь тепловыми и инерционными потерями; учет влияния, приведенных к штоку ГЦ силы инерции адаптера, сил трения в парах МН, и потерь давления приводит к росту давления в ГЦ в момент завершения подъема адаптера до предельного уровня, что согласуется с экспериментом.

Выбор параметров МН выполнялся с учетом его структуры и руководствуясь соображениями взаимосвязанной компоновки МН и механизма вывешивания адаптера. Проектная задача была сведена к выбору удовлетворяющего требованиям варианта из серии, проанализированной графоаналитически. Это оставляет неисследованными ряд комбинаций внутренних параметров МН, реализующих меньшие средние значения ПЧ.

Передаточное число – это главный выходной параметр МН, зависящий только от сочетания его внутренних параметров, который аналитически определяется по выражению

$$I_S = \varphi'_3 \left[U_{53} L_5 \cos \varphi_5 + U_{43} L_{S4} \cos(\varphi_4 + \varphi_{S4}) \right],$$

где $\varphi'_3(S)$ – аналог угловой скорости поворотного рычага; U_{53} , U_{43} – передаточные отношения; L_{S4} – расстояние от оси подвеса до центра тяжести адаптера; φ_{S4} – постоянный угол между L_4 и L_{S4} .

Параметрический синтез шестизвенного МН выполняется с целью определения его внутренних параметров, обеспечивающих снижение среднего значения целевой функции – передаточного числа МН при одновременном выполнении условий работоспособности МН. Условия работоспособности (функциональные ограничения) представляют собой формализованные выражения для технических требований к МН и задаются системой неравенств:

$$\begin{cases} S < l_3 + \sqrt{(Y_{03} - Y_{01})^2 + (X_{03} - X_{01})^2}; \\ \Delta Y_M = Y_{34}(S^{\max}) - Y_{34}(S_p) \geq \Delta Y_M^{\text{доп}}; \\ \Delta \varphi_4^{\max} = \varphi_4(S^{\max}) - \varphi_4(S_p) \leq \varphi_4^{\text{доп}}, \end{cases}$$

где, $\Delta Y_M(S)$ – изменение оси подвеса; $\Delta \varphi_4^{\max}$ – изменение угла поворота адаптера; $Y_{01}, X_{01}, Y_{03}, X_{03}$ – координаты крепления звеньев МН на раме измельчителя.

В условиях автоматизированного проектирования МН КСК-600 процедура оптимизационного параметрического синтеза МН формируется на базе ММ анализа, прямых и функциональных ограничений, целевой функции и метода оптимизации, осуществляющего стратегию поиска экстремума.

УДК 621.74

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБИНЫ ТУРБОБУРА

И. Б. Одарченко, В. М. Ткачев, Т. М. Заяц

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

В РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» при бурении новых скважин массово применяются турбобуры типа ТСА-240 и ТСА-195, оснащенные высокооборотными и высокомоментными турбинами точного литья, закупаемыми в Российской Федерации. При реализации программы импортозамещения возникла проблема отсутствия на предприятиях Республики Беларусь технологии изготовления сложных литых заготовок деталей подобного типа. Для их изготовления общепринята дорогостоящая, ресурсо- и энергоемкая технология литья в керамические формы по выплавляемым моделям.

Литые заготовки для деталей рабочей пары «статор» и «ротор» турбобура изготавливаются из конструкционной легированной стали марки 40ХЛ. Выбор данного материала обусловлен жесткими условиями эксплуатации деталей. Детали работают в условиях интенсивного абразивного износа в агрессивной кислой среде. Масса каждой детали составляет 1,3 кг. Все поверхности детали, за исключением поверхностей лопаток турбин, получают механической обработкой литых поверхностей.

С точки зрения возможностей получения литой заготовки конструкцию деталей секции турбобура следует признать крайне нетехнологичной. В них, на первый взгляд, сложно выделить плоскости разреза для изготовления традиционными способами формовки. Конструкция зоны лопаток характеризуется сложной конфигурацией тела отливки, криволинейными контурами лопастей. Минимальная толщина литых стенок турбины составляет от 2 до 3 мм в узких сечениях. На фоне этого при переходах в цилиндрические части тела отливки имеются утолщения в теле, которые являются термическими узлами, предопределяющими высокую вероятность образования усадочных дефектов, что недопустимо.

В ГГТУ им. П. О. Сухого ведутся исследования по разработке альтернативной технологии производства данного типа изделия с возможностью замены литья по выплавляемым моделям на более технологичный и рентабельный способ. В качестве альтернативной предложена технология формовки с применением химически твердеющих смесей холодного отверждения с параллельным принудительным вакууми-

рованием полости формы. Данные смеси обеспечивают сочетание высокой прочности и хорошей газопроводящей способности литейной формы, возможность обеспечения размерной точности и чистоты поверхности отливки.

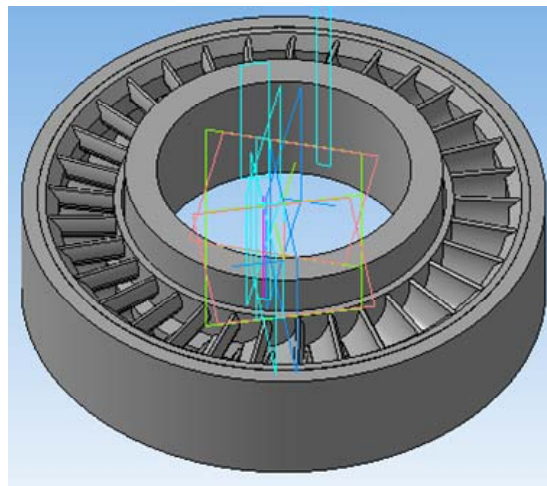


Рис. 1. 3D-модель ступени турбобура

Разработана конструкция литниково-питающей системы и спроектирована технологическая оснастка. Проведено компьютерное моделирование условий и режимов заливки. Установлено, что ввиду выше обозначенной сложности конструкции отливки и низких литейных свойств сплава 40ХЛ типичным дефектом, формирующимся в теле, являются дефекты усадочного характера: раковины и пористость.

В результате была получена оптимизированная конструкция литейной формы, обеспечивающая формирование качественной отливки.

УДК 621.791

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТНОГО ЗАМЫКАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ

М. П. Кульгейко, Д. В. Мельников, Г. С. Кульгейко, Г. В. Петришин

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

Среди систематизированных элементарных процессов магнитно-электрического упрочнения представляет несомненный интерес и практическую значимость механизм расплавления контактного мостика, т. е. расплавление ферромагнитных зерен, замыкающих под действием магнитного поля контакт между деталью и электродом-ротором. Процесс расплавления в значительной степени определяется электрическим сопротивлением в области стягивания контактного мостика.

Целью данной работы является установление зависимости электрического сопротивления в рабочей зоне от физических и геометрических факторов процесса.

На основании трубной модели силовых линий электрического тока по аналогии между течением по трубе вязкой жидкости и течением электрического тока по проводу полное электрическое сопротивление контакта можно определить как сумму:

$$R_o = R_r + R_{\text{мг}},$$

где R_r – геометрическая составляющая полного сопротивления контакта, определяющаяся искривлением линий электрического тока при прохождении через зерна порошка; $R_{\text{мг}}$ – сопротивление, обусловленное микрогеометрией контакта, которое создается искривлением линий электрического тока при прохождении через микроконтакты шероховатости.

При увеличении кривизны электрической трубки удлиняется путь тока от инструмента через порошок к поверхности детали. Электрическое сопротивление с учетом геометрии (микрогеометрии) проводника на некотором участке a – b можно определить по формуле

$$R_{r(\text{мг})} = \int_a^b \frac{\rho \cdot dx}{\Delta S(x)},$$

где ρ – удельное сопротивление; ΔS – площадь сечения трубки электрического тока.

Составляющую R_r определяем исходя из допущения о симметричной форме зерен порошка, близкой к эллипсоиду. В первом приближении частицу ферромагнитного порошка можно рассматривать в виде двух усеченных конусов, примыкающих друг к другу большими основаниями. Частица такой вытянутой формы в магнитном поле будет располагаться своей осью в направлении линий магнитного поля, т. е. замыкать контакт между инструментом и деталью вдоль своей большей оси. Сопротивление $R_{\text{мг}}$ определяется неровностями поверхности инструмента и детали, с которыми в данный момент времени контактирует единичное зерно ферроабразивного порошка. Модель единичной неровности поверхности принимаем в виде пирамиды с квадратным основанием и для дальнейшего анализа представляем ее в виде эквивалентного конуса.

На основе принятых моделей получены аналитические зависимости для определения полного электрического сопротивления контактного замыкания и его составляющих.

Представленные результаты исследования позволяют оценить роль геометрических и физических факторов процесса в формировании электрического сопротивления контакта, что в значительной степени определяет энергетику магнитно-электрического упрочнения. Полученные зависимости дают представление о взаимосвязи параметров, определяющих контактные процессы в рабочей зоне, и показывают возможные неопределенности и пути их преодоления с целью управления электроконтактными явлениями в процессе упрочнения.

УДК 631.355(043)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕНАДЕЖНЫХ КОМПОНЕНТОВ ГИДРОСИСТЕМЫ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Е. М. Чуб¹, Д. Л. Стасенко²

¹ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

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

На надежность гидросистем при эксплуатации оказывают влияние различные факторы: особенности конструктивного исполнения (степень резервирования, возможность регулирования, удобство обслуживания и замены элементов и др.); режимы работы (частота включений, мощность, рабочее давление); параметры окружаю-

щей среды (температура, загрязненность, влажность), состояние рабочей жидкости (ее загрязненность, газосодержание, наличие воды, вязкость, температура); организационно-эксплуатационные условия, в том числе принятая стратегия технического обслуживания и ремонта, квалификация обслуживающего персонала, наличие эффективных средств диагностирования и др.

Отказы гидросистемы, происходящие в процессе эксплуатации машин, являются актуальной задачей для машиностроения. Затруднения, возникающие при применении логических схем для диагностики гидроприводов машин, могут быть устранены при использовании графов причинно-следственных связей. Их целесообразно применять в тех случаях, когда объект диагностирования не имеет явно выраженных функциональных блоков, когда отсутствуют точные аналитические или экспериментальные зависимости между параметрами объекта [1].

Рассмотрим модель построения графа причинно-следственных связей на примере гидросистемы кормоуборочного комбайна. На рис. 1 представлен граф причинно-следственных связей гидросистемы рабочих органов и рулевого управления кормоуборочного комбайна. Граф состоит из звеньев, представляющих собой рабочие органы, соединенные между собой связями. Проанализировав отказы, возникшие в работе гидросистемы, можно сделать вывод, что наиболее выходящим из строя элементом гидросистемы является гидроцилиндр навески Ц4 (16 случаев).

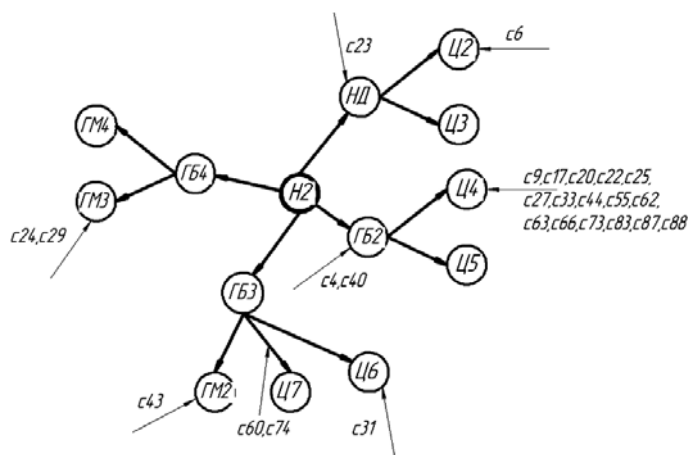


Рис. 1. Граф причинно-следственных связей гидросистемы рабочих органов и рулевого управления

Использование графов позволяет обеспечить высокую точность определения места отказа гидросистемы комбайна. Кроме того, модель позволяет наглядно определить наиболее часто выходящие из строя компоненты гидросистемы (в графическом виде), а также позволит уменьшить время поиска места отказа в гидросистеме и вычислить часто выходящий из строя компонент или компоненты гидросистемы, что в результате позволит сэкономить денежные средства, а также даст возможность отсеивать изначально низкокачественные компоненты гидросистемы.

Л и т е р а т у р а

1. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. М. Башта [и др.] ; под общ. ред. Т. М. Башты. – М. : Машиностроение, 1989. – 264 с.
2. Никитин, О. Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов / О. Ф. Никитин. – М. : МГТУ, 2007. – 312 с.

УДК 62-352

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ НАПРАВЛЯЮЩИХ АППАРАТОВ

Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко

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

Существует множество конструкций гидрораспределителей, широко выпускаемых отечественными и иностранными производителями с условным проходом $D_u = 6-32$, которые могут быть использованы в различных приводах мобильных машин и технологического оборудования на давлении, не превышающем 35 МПа.

Цель данной работы заключается в повышении эксплуатационных возможностей гидрораспределителей с условным проходом $D_u = 6-32$ при форсировании их по давлению.

Для дистанционного управления перемещением рабочих органов гидродвигателей в гидроприводах применяются дискретные гидрораспределители (включено-выключено) и дросселирующие гидрораспределители (могут регулировать скорость рабочей жидкости). Известно, что в момент переключения положения гидрораспределителя, т. е. изменения положения запорно-регулирующего элемента (золотника) относительно корпуса, где он располагается, происходит открытие расходной щели, через которую протекает рабочая жидкость. Выполняя подобные функции изменения положения запорно-регулирующего элемента, осуществляются реверс и остановки гидродвигателей. Присущие преимущества и недостатки дискретных и дросселирующих гидрораспределителей легли в основу для создания новых конструкций пропорционального гидрораспределителя, который позволяет осуществлять возможность «приоткрывания» золотника, т. е. регулирования скорости движения гидродвигателей. Однако практика показывает, что это регулирование очень низкого качества. Причины – недостаточная точность позиционирования, нестабильность расходной характеристики из-за неточности осевого расположения рабочих кромок золотника, повышенный гистерезис в результате сухого трения в подвижных элементах, зависимость расхода от перепада давлений [1], [2].

Резкое изменения площади расходной щели приводит к значительному росту сил, действующих на запорно-регулирующий элемент, ухудшая его динамические характеристики. Также и повышение давления в значительной мере приведет к увеличению негативных факторов влияющих на его работу [1], [2].

Наиболее технологичным решением является изменение геометрии корпуса и запорно-регулирующего элемента, а именно нанесение на поверхности последнего различных прорезей (канавок), которые являются дросселирующими. Также необходимо обеспечить дополнительное перемещение запорно-регулирующего элемента вокруг своей оси. При этом выполнить соединение каналов, подводящих и отводящих гидролиний, а также шеек и плунжерной части запорно-регулирующего элемента плавными поверхностями, т. е. постепенно изменяющими перепадно-расходные параметры.

В результате выше перечисленные конструктивные изменения позволят расширить эксплуатационные возможности направляющей гидроаппаратуры, т. е. позволят использование ее на давлениях до 60 МПа. Это будет достигаться за счет повышения статической точности, надежности, уменьшения сил адгезии, устранения гидроударов, потерь в местных сопротивлениях.

Литература

1. Свешников, В. Интеллектуальная гидравлика: приводы с пропорциональным управлением / В. Свешников // Конструктор. Машиностроитель. – 2011. – № 1. – С. 42–47.
2. Лаевский, Д. В. Конструктивные особенности и моделирование золотникового распределителя с острой кромкой / Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко, Ю. А. Андреевец // Современные проблемы гидропневмосистем машин : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–28 окт. 2011 г. – Минск : БНТУ, 2011. – С. 54–62.

УДК 629.114.2-182.8

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА НАВЕСКИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА КОМБАЙНА КСК-600

В. Б. Попов

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

Агрегатирование самоходного измельчителя комбайна КСК-600, выпускаемого ЗАО СП «Брянсксельмаш», с адаптерами (Ад), осуществляется при помощи подъемно-навесного устройства (ПНУ), состоящего из гидропривода и механизма навески (МН) – основного компонента ПНУ, определяющего характер взаимодействия рамы с Ад.

Появление нового и модернизация серийных Ад изменяет требования на выходные параметры МН. Решение этой проблемы возможно в режиме автоматизированного проектирования, опирающегося на математическое моделирование. Вес Ад и удаление его центра тяжести от оси подвеса МН имеют тенденцию к росту, и заданная траектория подъема Ад воспроизводится, если обеспечена достаточная грузоподъемность ПНУ.

Преобразовав 3D-модель МН в плоский аналог, получим рычажный механизм, структура которого идентифицируется одноподвижным шестизвенником. Адаптер присоединяется к МН в четырех точках посредством поворотных рычагов и нижних тяг, а на плоскости преобразуется в выходное звено, положение центра тяжести которого однозначно связано с изменением обобщенной координаты (S).

Для определения положения подвижных шарниров МН, аналогов угловых и линейных скоростей формируются процедуры геометрического и кинематического анализа на базе метода замкнутого векторного контура. В результате определяется аналитическое выражение для передаточного числа МН – $I_{S4}(S)$:

$$I_S = \varphi'_3 \left[U_{53} L_5 \cos \varphi_5 + U_{43} L_{S4} \cos(\varphi_4 + \varphi_{S4}) \right], \quad (1)$$

где $\varphi'_3(S)$ – аналог угловой скорости звена L_{34} ; U_{53} , U_{43} – передаточные отношения; L_5 , L_{S4} – длина нижней тяги и расстояние от оси подвеса до центра тяжести Ад; $\varphi_5(S)$, $\varphi_4(S)$ – углы, образуемые L_5 , L_4 в правой декартовой системе координат.

Выражение для передаточного числа МН позволяет определить полезную нагрузку $F(S)$ на гидроцилиндре (ГЦ) и грузоподъемность G_{S4} ПНУ:

$$G_{S4} = \frac{p_{\text{гц}}^{\text{max}} F_c - \left[F_{\text{ин}}^{\text{пр}}(S^*) + F_{\text{тр}}^{\text{пр}}(S^*) \right]}{I_{S4}(S^*)_{\text{max}}}, \quad (2)$$

где $p_{\text{гц}}^{\text{max}}$ – максимальное давление в ГЦ; F_c – площадь поршня ГЦ; $F_{\text{ин}}^{\text{пр}}(S^*)$ – приведенная сила инерции и $F_{\text{тр}}^{\text{пр}}(S^*)$ – приведенная сила трения, определенные для значения обобщенной координаты, соответствующей максимуму передаточного числа.

Приведенная к штоку ГЦ сила инерции может быть определена по выражению

$$F_{\text{ин}}^{\text{пр}}(S) = m_4 a_{S4}(S) I_{S4}(S) + J_4 \varepsilon_4(S) \varphi'_4(S), \quad (3)$$

где $a_{S4}(S)$, $\varepsilon_4(S)$ – линейное и угловое ускорение; m_4 , J_4 – масса и момент инерции; Ад.

Силовой анализ выполняется по группам Ассура, по известной методике. Приведенная сила трения определяется по результатам кинематического и силового анализа:

$$F_{\text{тр}}^{\text{пр}}(S) = F_{\text{тр.ц}} + r f_{\text{тр}} \left\{ \sum_{i=1}^7 R_{0i}(S) \varphi'_i(S) + \sum R_{ij}(S) [\varphi'_i(S) \pm \varphi'_{i+1}(S)] \right\}, \quad (4)$$

где r – радиус шарниров; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения; $R_{0i}(S)$, $R_{ij}(S)$ – силы реакций в шарнирах МН; φ'_i , φ'_{i+1} – аналоги угловых скоростей звеньев МН; $F_{\text{тр.ц}}$ – сила трения манжеты ГЦ:

$$F_{\text{тр.ц}} = \pi D l f_c p_m,$$

где D – диаметр поршня ГЦ; l – ширина манжеты; f_c – коэффициент трения манжеты о гильзу ГЦ; p_m – среднее давление в напорной полости ГЦ.

УДК 519.876.5

К ВОПРОСУ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАТРОННОГО ПРИВОДА

С. Ф. Андреев, Э. Г. Тончинский

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

В настоящее время существует необходимость разработки эффективных САПР мехатронных систем различного целевого назначения, поэтому динамическое моделирование мехатронных систем является одной из актуальных задач мехатроники.

К мехатронным системам в машиностроительных технологиях относятся машины и механизмы с компьютерным управлением, предназначенные для выполнения технологических операций. Реальные мехатронные машины и механизмы моделируются в виде несвободных механических систем, представляющих собой совокупность некоторого конечного числа подвижно связанных между собой твердых тел (звеньев) с дополнительным специальным оборудованием, обусловленным особенностями технологического процесса, в котором участвует мехатронный привод: реверсивного двигателя, реле, детекторов положения и перемещения (датчиков).

В данной работе авторами предлагается решение задачи динамического программирования мехатронного рычажно-кривошипного привода с двумя датчиками перемещения. Первый датчик фиксирует число оборотов кривошипа, второй – положение выходного звена. Ставится задача позиционирования выходного звена – через заданное число оборотов кривошипа после начала движения механизма остановить выходное звено в заданном положении.

Рычажно-кривошипный привод с зазорами в шарнирах – цикловой механизм со многими степенями свободы, поэтому в качестве первой обобщенной координаты принимаем угол поворота кривошипа, а в качестве остальных – малые по величине динамические ошибки, которые определяют точность позиционирования.

Необходимо составить и решить систему нелинейных дифференциальных уравнений движения мехатронного привода, отображающих в моменты разгона и остановки механизма переходные процессы, которые существенно влияют на эксплуатационные показатели работы привода. Отличительной особенностью этой системы уравнений являются программируемые с помощью условных операторов дискретные изменения параметров двигателя, которые в реальных мехатронных устройствах изменяются при получении соответствующих сигналов с датчиков.

Для получения системы уравнений движения мехатронного привода применяется метод Лагранжа, который считается традиционным и наиболее часто используемым на практике. В выражение для кинетической энергии привода входят инерционные параметры звеньев и передаточные функции, содержащие обобщенные скорости. Силовые параметры, определяющие обобщенные силы, кроме «механических» сил и их моментов, включают также рабочую нагрузку на выходное звено и внутренние усилия в шарнирах с зазорами.

Решение уравнений получено в графическом виде с использованием системы Mathcad – системы компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования.

Использование полученных нами графиков скорости и перемещения выходного звена позволяют учесть влияние зазоров в шарнирах, величину отклонения движения выходного звена от программного движения и построить алгоритм программы управления электродвигателем в положении кривошипа, соответствующего остановке выходного звена в заданной позиции.

УДК 621.22(075.8)

ВЛИЯНИЕ ВИДА УПЛОТНЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЙ КПД ГИДРОДВИГАТЕЛЯ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Ю. А. Андреевец, А. А. Акатьев

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

Повышение КПД машин при выполнении технологических операций является актуальной задачей для любых гидрофицированных машин. Широко применяются машины с поступательным гидроприводом, в которых для выполнения технологических операций используются гидроцилиндры (ГЦ).

Целью настоящей работы является установление функциональной связи между видом и материалом уплотнения и силами трения, влияющих на механический КПД гидроцилиндров.

Механический КПД учитывает потери энергии на трение в уплотнениях и при условии нулевого давления на сливе и поршневой рабочей полости определяется выражением

$$\eta_{\text{мех}} = 1 - \frac{F_{\text{тр}}}{F_{\text{д}}}; \quad F_{\text{тр}} = \pi D l p'_r f_{\text{пр}}; \quad F_{\text{д}} = \frac{\pi}{4} D^2 p,$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения; D – диаметр поршня гидроцилиндра; l – длина уплотнительного элемента; p'_r – среднее радиальное давление, возникающее в соединении за счет предварительного натяга уплотнения при сборке и за счет давления жидкости; $f_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент трения в уплотнениях; $F_{\text{д}}$ – движущая сила; p – давление рабочей жидкости в рабочей полости ГЦ.

Для гидроцилиндра с $D = 70$ мм при известных приведенных коэффициентах трения и длинах уплотнений, задаваясь изменением давления от 0 до 40 МПа, построили графики зависимости силы трения и механического КПД от изменения давления (рис. 1).

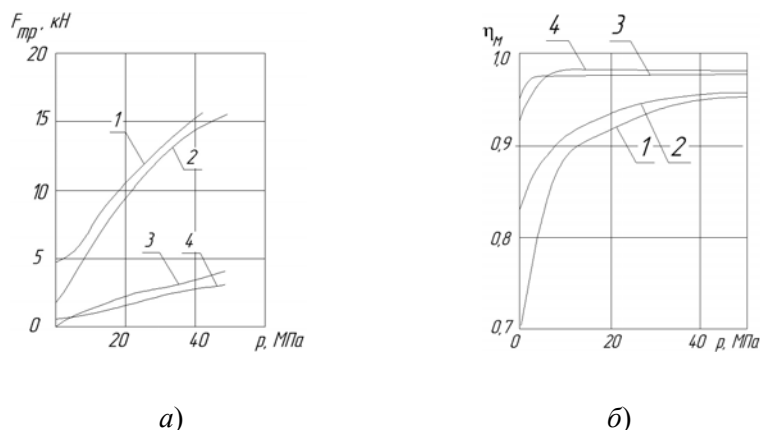


Рис. 1. Графики зависимости: а – силы трения; б – механического КПД ГЦ от давления для уплотнений: 1 – две шевронные манжеты (ГОСТ 22704–77); 2 – манжета (ГОСТ 14896–84) и две манжеты (ГОСТ 22704–77); 3 – два кольца круглого сечения; 4 – две малогабаритных манжеты и кольцо круглого сечения

Установлены функциональные связи между приведенным коэффициентом трения и механическим КПД ГЦ. Выявлено, что сила трения и величина механического КПД зависит от вида уплотнения. Таким образом, для контактных уплотнений, изготовленных из резины, наиболее высокий механический КПД получается при применении колец круглого сечения и малогабаритных манжет, наименьшее значение – при применении шевронных манжет.

Л и т е р а т у р а

1. Уплотнения и уплотнительная техника : справочник / Л. А. Кондаков [и др.] ; под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.
2. Макаров, Г. В. Уплотнительные устройства / Г. В. Макаров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1973. – 232 с.

УДК 531

АЛЬТЭРНАТЫЎНАЯ МЕТОДЫКА ДАСЛЕДАВАННЯ РАЎНАВАГІ ПЛОСКІХ СТАТЫЧНА ВYZНАЧАЛЬНЫХ МЕХАНІЧНЫХ СІСТЭМ

С. І. Русан

Установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»,
Рэспубліка Беларусь

Мэта метадычнай распрацоўкі – удасканаленне зместу раздзела «Статыка» агульнатэхнічнай дысцыпліны «Тэарэтычная механіка». Як вядома, названая дысцыпліна шырока запатрабавана і як самастойная навука, і як падмурак для пабудовы шэрагу іншых вузаўскіх курсаў. Таму ступень яе засваення студэнтамі істотна ўплывае на ўзровень падрыхтоўкі спецыялістаў.

Аб'ектамі даследавання з'яўляюцца складаныя статычна вызначальныя механічныя сістэмы. Навуковая распрацоўка адпаведнай тэмы ў падручніках і метадычных дапаможніках нам прадстаўляецца абмежаванай з прычыны адсутнасці ў іх структурнага аналізу і сінтэзу сістэм. І не дзіва, што студэнты губляюцца, убачыўшы ў заданні складаную сістэму. Як вядома, у статыцы разглядаюцца толькі статычна вызначальныя сістэмы. Пры гэтым статычная вызначальнасць сістэм устанаўліваецца шляхам падліку невядомых сілавых параметраў і колькасці магчымых ураўненняў раўнавагі для іх вызначэння. А дзе ж тут тэарэтычная механіка? Яна адсутнічае. Апісаная фармалізаваная методдыка на ўсіх стадыях разлікаў прыймальна для атрымання выніку ў інжынернай практыцы. У вучэбным працэсе яна ірацыянальна, таму што не стымулюе мысленне, інтэлектуальныя працэсы.

У якасці альтэрнатывы намі прапануецца методдыка вывучэння складаных механічных сістэм, пабудаваная на *аналізе і сінтэзе іх структуры*. Выдзелены тры тыпы *першасных* (найпрасцейшых) статычна вызначальных структурных падсістэм, утвораных з аднаго, двух альбо трох целаў. У выніку іх сінтэзу заўжды атрымліваецца складаная *статычна вызначальная* сістэма. Кожная з падсістэм у гэтай сістэме можа займаць адзін з трох узроўняў: ніжэйшы (базавая падсістэма), прамежны (змешаная) і вышэйшы (надбудаваная). Узровень падсістэмы вызначаецца спосабам усталявання яе сувязей. Базавая падсістэма ўсімі знешнімі сувязямі далучаецца да нерухомай асновы (падмурка). Надбудаваная – злучаецца толькі з іншымі падсістэмамі. А прамежная кантактуе як з падмуркам, так і з іншымі падсістэмамі. З дапамогай адмысловых сімвалаў запісваюцца так званыя *формулы будовы* складаных сістэм. Яны дазваляюць выбраць рацыянальную паслядоўнасць сілавога аналізу складаных аб'ектаў. Разглядаецца сінтэз (мантаж) складаных сістэм па зададзеных формулах будовы. Удакладняецца паняцце простага сістэмы: яна ўтворана з адной першаснай падсістэмы. Таму можа ўключаць некалькі целаў.

Для апісання механічных сувязей уводзіцца колькасная характарыстыка – іх *валентнасць*. Яна роўна колькасці абмежаванняў, якія накладвае сувязь на матэрыяльны аб'ект. Самая высокая валентнасць у прасторавай жорсткай замацоўкі; яна роўна шасці. Наяўнасць адмысловага тэрміна дазваляе сфармуляваць аксіему аб вызваленні ад сувязей у больш агульным выглядзе: *не парушаючы раўнавагу матэрыяльнага аб'екта, валентнасць сістэмы накладзеных на яго сувязей можна панізіць, уводзячы адпаведную колькасць рэакцый сувязей*. Фактычна ў такім выглядзе аксіема без агалошвання прымяняецца ў аналітычнай статыцы.

Карыстаючыся апісанай методдыкай даследавання, студэнты атрымліваюць першы досвед тэарэтычнага канструявання механічных сістэм, які затым дазваляе ім легка авалодаць у тэорыі механізмаў і машын метадам Асура.

УДК 621.91

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ БАЗОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН

З. Я. Шабакаева, М. И. Михайлов, А. А. Карпов

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

Целью исследования является комплексный анализ микрогеометрии базовых поверхностей СМП.

Исследованию подвергались трех-, четырех- и пятигранные пластины с обработанными и необработанными базовыми гранями.

Исследование плоскостности опорных граней пластин производилось по результатам измерения отклонений реальной поверхности от прилегающей плоскости [1], [2].

Для измерения этих отклонений базовых граней было разработано и изготовлено специальное приспособление.

Это приспособление состоит из контрольной плиты, рабочая поверхность которой имела отклонение от плоскостности 0,001 мм. В плите выполнено отверстие, диаметр которого был равен 0,2 мм. В этом отверстии перемещалась контрольная игла, которая крепилась в измерительной головке. Погрешность отсчета измерительной головки составляла 0,5 мкм. На эталонную грань контрольной плиты устанавливали режущую пластину, которую прижимали металлическим цилиндром, что обеспечивало постоянство усилия в контакте и неизменность базирования.

Полученные результаты были проанализированы по следующим показателям: по среднему значению измеряемых величин, среднеквадратическому отклонению, коэффициенту вариации, а также по критерию согласия Пирсона и критерию Романовского был выбран закон распределения.

Кроме того, была исследована шероховатость базовых поверхностей по направлениям, имеющим наибольшие отклонения от плоскостности (рис. 1).

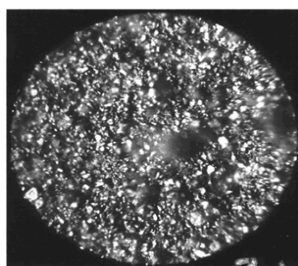


Рис. 1. Топография опорной поверхности СМПх500

По результатам исследований построены диаграммы распределения шероховатостей по строкам базовых граней.

Анализ полученных результатов позволил установить недостатки технологии изготовления СМП и разработать наиболее рациональную технологию получения базовых поверхностей с требуемыми параметрами их топографий.

Л и т е р а т у р а

1. Михайлов, М. И. Исследование геометрических параметров базовых граней сменных многогранных пластин / М. И. Михайлов, З. Я. Шабакаева // *Материалы, технологии, инструмент.* – 1996. – № 3. – С. 84–87.
2. 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.

УДК 621.833

**АНАЛИЗ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗАГОТОВОК ИЗ ЧУГУНА
И СТАЛЕЙ 51CrV4, 65Г
ПОСЛЕ ИХ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ**

П. Н. Богданович¹, М. И. Михайлов², К. М. Михайлов²

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

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

На современном этапе развития сельскохозяйственного машиностроения стоит задача разработки и выпуска машин, позволяющих обеспечить максимальное сбережение сырьевых, топливных и энергетических ресурсов на всех этапах производства, переработки и использования сельскохозяйственной продукции [1].

В качестве упрочнения был выбран экспериментальный метод электрофрикционного упрочнения. Упрочняемая деталь закрепляется в ванне, наполненной рабочей жидкостью (водой) таким образом, чтобы деталь была полностью покрыта жидкостью. На участок детали, подвергающийся упрочнению, опускается вращающийся диск, изготовленный из серого чугуна, который имеет возможность совершать продольное перемещение относительно детали. Упрочняемая деталь и чугунный диск замыкаются в контур. При соприкосновении диска с деталью происходит электрический пробой, вследствие чего происходит резкий нагрев локального участка упрочняемой детали. Так как упрочнение проводится в воде, то происходит быстрое охлаждение, благодаря чему достигается поверхностная закалка детали.

Испытания образцов на абразивное изнашивание проводилось на торцевой машине трения. В качестве контртела была сталь в водной взвеси (NaCl и KCl (3 мас. %) и SiO₂ (5–10 мас. %)). Данное содержание моделировало реальные условия работы ножей (калийная соль – удобрение, песок – естественная среда).

В качестве критерия определения триботехнических свойств была выбрана массовая интенсивность изнашивания. Образцы взвешивались до и после проведения испытаний, и по потере массы можно было определить наиболее износостойкий образец при данных условиях проведения эксперимента.

Определено влияние времени испытания на интенсивность изнашивания при $P = 9,1$ кПа; $P = 18,2$ кПа; $V = 0,28$ м/с; $V = 0,57$ м/с.

Высокие значения интенсивности изнашивания у образцов из сталей 65Г и 51CrV4 связаны с высокой шероховатостью образцов после упрочнения и, как следствие, сколом небольших участков острых кромок образцов. Дальнейшее увеличение интенсивности у образцов из всех материалов изнашивания связано с увеличением фактической площади трения. Стабилизация или небольшое снижение интенсивности изнашивания связано с уменьшением размера абразивных частиц.

Определено влияния скорости испытания на интенсивность изнашивания.

Проведенные испытания упрочненных образцов позволяют заключить, что использованный электрофрикционный метод упрочнения в зависимости от режима испытаний повысил износостойкость образцов из всех представленных материалов в 1,1–1,5 раз, причем наибольшей износостойкостью обладали образцы из чугуна ВЧТГ.

Зона упрочнения может достигать до 400 мкм, присутствует также зона термического влияния и зона легирования.

Доминирующим видом изнашивания является абразивное; адгезионное и усталостное изнашивания вносят значительно меньший вклад.

Литература

1. Власов, П. А. Надежность сельскохозяйственной техники / П. А. Власов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2001. – 124 с.

УДК 621.891

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ НА МЕТАЛЛАХ**

Ю. Е. Кирпиченко

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

Долговечность и надежность работы машин в значительной степени зависит от смазочных материалов и особенно от свойств граничных смазочных слоев. Трение и износ металлов в режиме граничной смазки сопровождается рядом взаимосвязанных и в то же время имеющих свою специфику процессов адсорбции смазочного материала на поверхности металла, его трансформации в результате механических и термических воздействий в зоне трения, взаимодействия активных продуктов разложения с поверхностью металла. Действие указанных процессов обуславливает формирование двух основных субъектов поверхности раздела: граничного смазочного слоя с особыми физическими свойствами и модифицированного поверхностного слоя на металле. В зависимости от условий эксплуатации, природы смазки и металлов контактирующих поверхностей влияние одного из указанных субъектов может преобладать. Так, при мягких режимах эксплуатации и применении поверхностно-активных присадок работа пары трения определяется, преимущественно, свойствами поли- или мономолекулярного граничного слоя из адсорбированных молекул ПАВ. Напротив, смазывающие свойства масел с химически активными присадками при жестких режимах трения определяются способностью последних формировать на поверхности металла износостойкие слои из продуктов химических реакций. Однако в общем случае оба слоя присутствуют в поверхности раздела, внося свой вклад в характер фрикционного взаимодействия.

Разделение вклада модифицированного поверхностного слоя и граничного смазочного слоя в уровень регистрируемых фрикционных характеристик всегда сопряжено с определенными трудностями. С одной стороны, в условиях динамического контакта сложно контролировать толщину и сплошность граничного смазочного слоя, с другой, несмотря на успехи в изучении состава, структуры и толщины модифицированного поверхностного слоя, явно недостаточно изучены их физико-механические и антифрикционные свойства.

Важную дополнительную информацию о характере формирования поверхности раздела при граничной смазке может дать регистрация электрического контактного сопротивления. В настоящей работе представлена установка, реализующая метод раздельного изучения свойств модифицированного поверхностного слоя и граничного смазочного слоя при измерении электросопротивления фрикционного контакта металлов. В установке реализована схема фрикционного контакта «колодка–диск–колодка». Применение схемы с двумя механизмами нагружения, установленными симметрично относительно контробразца, позволяет варьировать в более широком диапазоне коэффициент взаимного перекрытия, снизить величину деформации вала с закрепленным на нем контробразцом и реализовать четырехпроводную электрическую схему измерения контактного сопротивления, так как ток будет с одного образца через контробразец подаваться на другой.

Проведенные на установке модельные эксперименты, комбинирующие изменения контактного электрического сопротивления и силы трения в статическом и динамическом контакте, показали, что такой подход может быть эффективным для изучения поверхности раздела при граничной смазке, в частности, для оценки роли граничного смазочного слоя и модифицированного поверхностного слоя. Получено подтверждение, что при повышенных температурах не только химически активные присадки смазочного масла, но и его инактивные компоненты могут формировать модифицированные слои на поверхности стали.

УДК 001.891.54

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗНОСА АБРАЗИВНО-ОТРЕЗНОГО КРУГА

Н. А. Старовойтов, С. В. Рогов

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

В литературе [1] приведена формула (1) математической модели износа абразивно-отрезного круга:

$$S_{\text{и}} = \pi r_{\text{к}}^2 - \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} r_{\text{кк}}^2(\varphi) d\varphi. \quad (1)$$

Формула (1) является математической моделью износа абразивно-отрезного круга и определяет зависимость основного критерия – скорости износа абразивно-отрезных кругов – от соотношения частоты колебаний и частоты вращения круга, скорости подачи, амплитуды колебаний и угла поворота круга.

Целью проведения экспериментальных исследований является определение с помощью метода планирования многофакторных экспериментов и регрессивного анализа экспериментальных данных, идентификация предложенной математической модели.

При идентификации математической модели коэффициент шлифования определяется по формуле (2) и равен отношению площади разрезаемого сечения заготовки S_3 к площади изношенной части круга $S_{\text{и}}$ [2], [3]:

$$G = S_3 / S_{\text{и}}. \quad (2)$$

Независимыми параметрами многофакторного эксперимента, влияющими на стойкость круга, были: скорость резания, подача отрезного круга, амплитуда виброскорости на частотах 15, 30, 50, 65 и 80 Гц. Разрезался круглый прокат диаметром 50 мм из стали 45 кругами марки ИАЗ 0,4 × 0,004 × 0,032 м, 91А80НСТ ЗВУ ГОСТ 21963–82 со скоростью резания 80 м/с без охлаждения.

Измерение виброскорости осуществлялось виброизмерительной аппаратурой 00032RFT, дискретизация осциллограмм – с помощью преобразователя осциллограмм Ф014.

После вычисления амплитуды виброскорости были составлены матрицы результатов многофакторного эксперимента, которые включали следующие параметры: X_1 – скорость резания $v_{\text{к}}$; X_2 – подача круга $v_{\text{п}}$; X_3 – амплитуда виброскорости A_{v15} на частоте 15 Гц; X_4 – амплитуда виброскорости A_{v30} на частоте 30 Гц; X_5 – амплитуда виброскорости A_{v50} на частоте 50 Гц; X_6 – амплитуда виброскорости A_{v65} на частоте 65 Гц.

те 65 Гц; X_7 – амплитуда виброскорости A_{v80} на частоте 80 Гц; X_8 – коэффициент шлифования G , зависимая переменная. Количественной оценкой связи между параметрами является коэффициент множественной корреляции r_{mk} .

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Полученные результаты подтверждают идентичность математической модели износа абразивно-отрезного круга, что обусловлено большим значением коэффициента множественной корреляции $r_{mk} = 0,897$.

2. По степени увеличения отрицательного влияния на стойкость отрезных кругов исследуемые независимые факторы можно расположить в следующей последовательности: амплитуда колебаний круга на частоте 65 Гц, амплитуда колебаний круга на частоте 15 Гц, амплитуда колебаний круга на частоте 80 Гц, амплитуда колебаний круга на частоте 30 Гц, амплитуда колебаний круг на частоте 50 Гц, скорость подачи круга, скорость резания.

3. Колебания отрезного круга на частоте его вращения несущественно увеличивают его износ.

Литература

1. Старовойтов, Н. А. Математическое моделирование процесса износа абразивно-отрезных кругов при гармонических колебаниях / Н. А. Старовойтов // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2015. – Т. 20. – № 2. – С. 41–45.
2. Farmer, D. A. Economics Factors in Abrasive Machining / D. A. Farmer, M. C. Shaw. – *Tool and Manufacturing Engineer*. – 1967. – Vol. 59. – P. 42.

УДК 622.276(476)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКВАЖИННЫХ ФЛЮИДОВ

В. М. Ткачев¹, Р. Е. Гутман¹, В. И. Петрушенко²

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

²ООО НПО «Союзнефтегазсервис», г. Москва, Российская Федерация

Физико-химические свойства флюидов необходимы для подсчета запасов углеводородов, а также для расчетов при проектировании, разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Как правило, наиболее полный комплекс физико-химических свойств флюидов определяется на стационарных установках в ходе PVT-анализа (давление–объем–температура). Подобное оборудование является дорогостоящим и требует высокой квалификации обслуживающего персонала. Существует метод оценки свойств нефти в скважинных условиях по свойствам товарной нефти с помощью корреляционных зависимостей [1]. Такой метод является приближенным и требует наличия большого объема статистических данных для вывода корреляции, которая в большинстве случаев будет применима только для конкретного месторождения.

С целью увеличения оперативности получения данных и повышения экономической эффективности отбора проб и проведения первичного экспресс-анализа авторами был предложен способ определения физических свойств флюида непосредственно в скважине (рис. 1) [2].

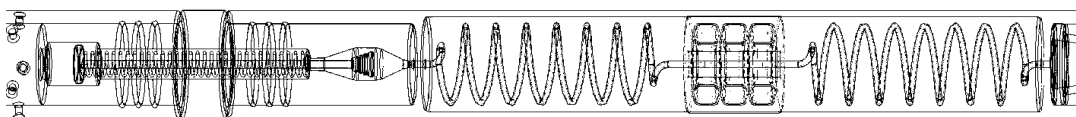


Рис. 1. Конструкция пробоотборника

Для его реализации пробоотборник дополнительно снабжен измерительной секцией, представляющей собой капилляр в виде двухсекционной пружины с датчиком перемещений в ее средней части. Секция устанавливается в пробоотборнике между входным клапаном и пробоотборной камерой. Отбираемый флюид проходит через капилляр и попадает в пробоотборную камеру. По разности давлений на входе и выходе капилляра и времени заполнения по формуле Пуазейля можно определить динамическую вязкость, а по резонансной частоте колебаний пружины – плотность скважинного флюида на забое в естественных пластовых условиях. С помощью модельных исследований построен график зависимости резонансной частоты колебаний капилляра от плотности жидкости в его полости. Для оценки точности определения вязкости вычислялась вязкость трансформаторного масла Т-1500 ГОСТ 982–80, в качестве эталонной жидкости использовалась вода при н. у. Погрешность определения вязкости не превысила 2,1 %, что приемлемо для подобного рода измерений.

Работа выполнялась при финансовой поддержке ООО НПО «Союзнефтегазсервис», г. Москва.

Литература

1. О применении корреляционных зависимостей для определения физических свойств нефтей белорусских месторождений / И. Г. Мельников [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2016. – № 1. – С. 24–30.
2. Глубинный пробоотборник : пат. 11014 U Респ. Беларусь, МПК E21B49/08 / В. М. Ткачев, В. И. Петрушенко, Р. Е. Гутман, Р. В. Асвинов ; заявитель и патентообладатель ГГТУ им. П. О. Сухого (BY) ; НПО «Союзнефтегазсервис» (RU). – № U20150364 ; заявл. 29.10.15 ; опубл. 30.04.16 // Бюл. № 2. – С. 152.

УДК 621.9.048.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

В. Н. Попов, А. В. Евдокимов

Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», Республика Беларусь

Исследовалась теплостойкость упрочненной поверхности, полученной в процессе электроэрозионного легирования, так как именно она существенно влияет на долговечность режущего и формирующего инструмента в условиях высоких температур.

При испытаниях использовалась рабочая жидкость РЖ-3.

Все испытания проводились на образцах из теплостойкой стали 4Х5МФС при фиксированных режимах, задаваемых генератором импульсов: средняя сила тока $I_{cp} = 5$ А, среднее напряжение $U_{cp} = 30$ В, длительность импульса $\tau_{и} = 200$ мкс, частота импульсов $f = 400$ Гц. В качестве легирующего элемента использовался мелкодисперсный порошок окиси хрома Cr_2O_3 (средний размер частиц 5–6 мкм) концентрации 100 г/л.

Толщина упрочненного слоя после обработки получалась в пределах 50–60 мкм. Среднее значение градиента твердости по толщине слоя изменялось в пределах от 80 до 60 HRC. Испытания проводились при температурных режимах: 600, 750, 900 °С с интервалами выдержки 2, 4, 6, 8 ч. На основании измерения микротвердости слоя, изучения структурных составляющих слоя, полученного при испытаниях, установлено, что существенное изменение теплостойкости упрочненного слоя начинает происходить при температуре свыше 750–780 °С. Изменение градиента твердости легированного слоя происходит только в верхних границах, постепенно снижаясь до значений 55–60 HRC по всей толщине. Таким образом установлено, что полученная упрочненная поверхность практически не снижает теплостойкость до 750 °С, увеличивая ресурс инструмента в 2–2,5 раза.

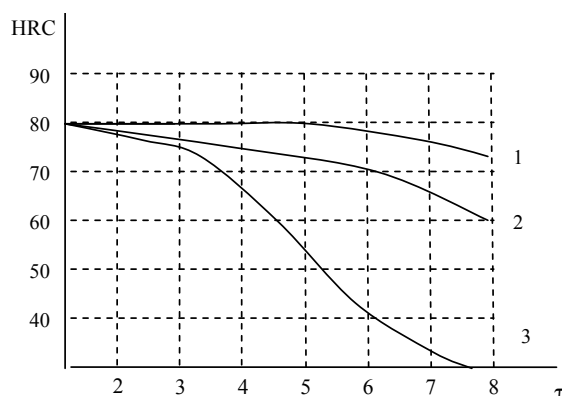


Рис. 1. График зависимости средней микротвердости легированного слоя от времени при нагреве до температур: 1 – 600 °С; 2 – 750 °С; 3 – 900 °С

Литература

1. Немилов, Е. Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов / Е. В. Немилов. – Л. : Машиностроение, 1989. – 164 с. : ил.
2. Плошкин, В. В. Электроэрозионная обработка как метод поверхностного упрочнения сталей / В. В. Плошкин // КШП. – 2005. – № 2. – С. 20–23.
3. Плошкин, В. В. Структурные превращения при электроэрозионной обработке сталей / В. В. Плошкин // Изв. вузов. Черная Metallургия. – 2005. – № 11. – С. 43–48.

УДК 629.4.027.27

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕСУРСА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ЗАПАСА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ

М. И. Пастухов

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

Цель исследования – определение остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов.

Произведен расчет коэффициентов запаса сопротивления усталости для боковых рам и надрессорных балок тележек моделей 18-100 и 18-578 по методике ВНИИВа с использованием результатов усталостных испытаний [1] по формуле

$$n = \frac{P_a(0,95) + \Psi_\sigma (P_m - P_{ст} K_n)}{P_{ст} K_n K_{д.э}}, \quad (1)$$

где $P_a(0,95)$ – предел выносливости детали при вероятности неразрушения $P = 0,95$ при базовом числе циклов нагружения $N_0 = 10^7$, полученный по результатам их усталостных испытаний; Ψ_σ – коэффициент чувствительности детали к асимметрии цикла; P_m – постоянная средняя нагрузка цикла; $P_{ст}$ – вертикальная статическая нагрузка брутто на деталь; K_n – коэффициент использования грузоподъемности вагона; $K_{д.э}$ – коэффициент вертикальной динамической нагрузки на деталь.

Остаточный ресурс литых деталей определен по зависимости

$$T_{ост} = (T_n - T_i) \left(\frac{n}{[n]} \right)^m, \quad (2)$$

где T_n – назначенный срок службы литых деталей, годы по ОСТ 32.183–2001; T_i – срок службы детали на момент контроля, годы; n и $[n]$ – соответственно, расчетный и допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости; m – показатель степени наклона кривой выносливости.

Результаты расчета по зависимостям (1) и (2) сведены в таблицу.

Остаточный срок службы литых деталей тележек моделей 18-100 и 18-578

Срок службы детали T_i , лет	Величины расчетных коэффициентов запаса сопротивления усталости n и $T_{ост}$, лет при $[n] = 1,8$							
	боковой рамы тележек				надрессорной балки тележек			
	18-100		18-578		18-100		18-578	
	n	$T_{ост}$	n	$T_{ост}$	n	$T_{ост}$	n	$T_{ост}$
0	1,64	21,4	1,94	44,0	1,27	7,9	1,91	40,6
10	1,72	15,5	2,03	37,4	1,65	15,5	2,48	79,2
20	1,80	11,1	2,13	24,6	1,77	11,2	2,67	58,0
30	1,96	2,0	2,31	5,9	1,84	2,1	2,87	12,9

Как видно из таблицы, литые детали тележки 18-100 исчерпали ресурс назначенного срока службы 32 года, а детали тележки 18-578 имеют дополнительный ресурс 8–12.

Литература

1. Ефимов, В. П. Технический уровень тележки 18-578 в сравнении с тележкой 18-100 / В. П. Ефимов // Ж.-д. транспорт. – 2006. – № 7. – С. 56–60.

УДК 621.9.02-192

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗУЮЩЕЙ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ИСХОДНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ С ВНУТРЕННИМ КАСАНИЕМ

Д. В. Никитенко, М. И. Михайлов

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

Детали и изделия, рабочие и вспомогательные поверхности которых образованы винтовыми поверхностями, широко применяются в современном машиностроении. Формообразование винтовых поверхностей при наружном касании инструмента с деталью в прямой и обратной постановке достаточно хорошо изучено [1], однако вопросы формообразования при внутреннем касании исследованы недостаточно. Целью данной работы является моделирование образующей винтовой поверхности при ее формообразовании исходной инструментальной поверхностью с внутренним касанием. Решать эту задачу будем методом преобразования координат [2].

Для упрощения расчетов были введены четыре промежуточные системы координат (рис. 1). Если исходная инструментальная поверхность задана вектором r_0 в системе координат $X_0Y_0Z_0$, то координаты образующей винтовой поверхности в сечении, проходящем под углом λ к торцевой поверхности винтовой детали, определяются уравнением

$$r_4 = M_{43}(\lambda)M_{32}(\omega, p)M_{21}(\varepsilon, a)M_{01}(\varphi, L)r_0, \quad (1)$$

где $M_{01}(\varphi, L)$ – матрица, которая учитывает поворот системы координат $X_1Y_1Z_1$ на угол φ (угловой параметр исходной инструментальной поверхности) вокруг оси X_1 и ее смещение L вдоль оси X_1 ; $M_{21}(\varepsilon, a)$ – матрица, которая учитывает поворот системы координат $X_2Y_2Z_2$ на угол установки инструмента ε вокруг оси Y_2 и ее смещение на величину межосевого расстояния a вдоль оси Y_2 ; $M_{32}(\omega, p)$ – матрица, которая учитывает винтовое движение системы $X_3Y_3Z_3$ с угловым параметром ω и винтовым параметром p винтовой поверхности вдоль оси Z_3 ; $M_{43}(\lambda)$ – матрица, учитывающая поворот системы координат $X_4Y_4Z_4$ вокруг оси Y_4 на угол λ .

Образующую винтовой поверхности в произвольном сечении, проходящем под углом λ к торцевой поверхности детали, получили как огибающую семейства кривых, являющихся решением уравнения (1) относительно углового параметра φ исходной инструментальной поверхности.

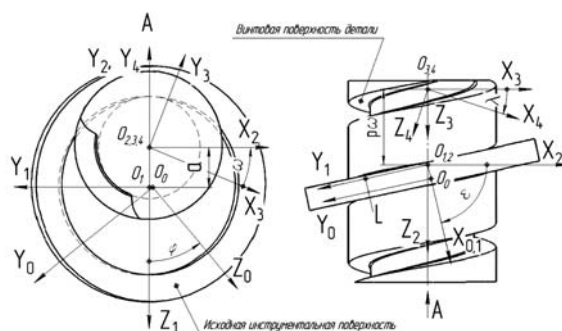


Рис. 1. Расчетная схема к определению образующей винтовой поверхности

Литература

1. Лашнев, С. И. Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей / С. И. Лашнев. – М. : Машиностроение, 1965. – 152 с.
2. Панкратов, Ю. М. Профилирование обкатных инструментов / Ю. М. Панкратов. – Спб. : Политехника сервис, 2010. – 158 с.

УДК693.554.1:621.825.22

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ
В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ
ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

А. А. Квитанов¹, И. Б. Одарченко², В. М. Ткачев²

¹*ОАО «Гомельский завод литья и нормалей», Республика Беларусь*

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

В Республике Беларусь до недавнего времени при возведении железобетонных конструкций в основном применялись сварные и нахлесточные соединения арматуры. Это объясняется тем, что в Советском Союзе, в основном, преобладало крупнопанельное строительство. Возросшие объемы строительства из монолитного железобетона продиктовали необходимость перехода на более надежные и экономичные технологии возведения зданий и сооружений, что привело к замене сварки или нахлестки при армировании железобетонных конструкций на применение механических соединений арматуры.

В западных странах этот процесс начался более 30 лет назад и успешно продолжается в настоящее время, приобретая все более широкий характер.

В Республике Беларусь эта задача стала особенно актуальной с началом строительства Островецкой АЭС.

Из применяемых в строительстве видов механического соединения арматурных стержней наиболее перспективными являются муфтовые соединения с параллельной и с конусной резьбой. При использовании соединения с конусной резьбой обеспечивается предел прочности, сравнимый со свойствами самого стержня только при статическом нагружении. Однако при переменных нагрузках усталостная прочность соединения во многих случаях не удовлетворяет предъявляемым требованиям из-за недостаточной пластичности.

Исследования данной работы направлены на повышение усталостной прочности муфтового соединения с параллельной резьбой, нарезаемой на утолщенном конце арматурного стержня, получаемого холодной высадкой.

Освоение и организация производства соединительных муфт ОАО «ГЗЛиН» обозначили четкую перспективу и необходимость освоения механического соединения в целом. Для успешного конкурентирования как на внутреннем рынке, так и за рубежом решение этой задачи требует разработки технического решения и конструкции муфтового соединения для арматурных стержней с цилиндрической резьбой, отличающихся патентной новизной.

Нагрузка, прикладываемая к муфтовому соединению, распределяется по виткам резьбы по гиперболическому косинусу. Наиболее нагруженным является первый виток от торца соединителя и является концентратором напряжений, что снижает усталостную прочность соединения.

Один из путей конструктивных решений по уменьшению неравномерности распределения нагрузки по виткам – изменение податливости поперечного сечения соединения или витков резьбы. Технически данные изменения могут быть достигнуты путем среза витков резьбы муфты от торца под углом, а также резьбовой конец арматурного стержня может быть выполнен с полостью переменного сечения. Конусообразная полость может быть получена, например, прошивкой, совмещенной одновременно с высадкой.

Вариантом решения поставленной задачи по перераспределению нагрузки между витками резьбы может быть использование соединителя с внутренней резьбой с шагом больше шага резьбы на утолщенных концах арматурных стержней.

Реализация выше приведенных конструктивных мероприятий позволяет повысить усталостную прочность муфтового соединения арматурных стержней на 20–30 %.

УДК 539.375

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ КОЛЕСО–РЕЛЬС

Г. П. Тариков¹, Е. М. Акулова¹, В. А. Стальмаков², Н. В. Михальков²

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

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

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

Целью данного исследования является разработка способа решения задачи о контакте колеса с рельсом. При решении контактной задачи необходимо определять форму и размеры площадки контакта, а также распределение по этой площадке контактных напряжений.

Для определения формы и размеров площадки контакта колеса с рельсом предложен способ с использованием электрического моделирования. Этот способ основан на аналогии, существующей между интегральными уравнениями пространственных контактных задач и задачи электростатики. Применение непосредственно электростатического поля и электролитических ванн для реализации этой аналогии не дало желаемого результата ввиду большой погрешности экспериментальных данных.

Эту аналогию удалось успешно реализовать с помощью квазистационарного электрического поля. На этой основе было создано специальное электромоделирующее устройство и разработаны способы решения пространственных контактных задач с его помощью. Задача о контакте колеса с рельсом рассматривается как задача Герца о контакте двух упругих тел. Так как при воздействии нагрузки площадка контакта изменяет свои формы и размеры, то токопроводящий элемент, который является аналогом площадки контакта, выполнен в виде набора изолированных друг от друга токопроводящих пластин. На каждую из пластин подается электрический потенциал, моделирующий перемещение соответствующих участков площадки контакта. Токопроводящий элемент расположен на координатном столике, который обеспечивает его

перемещение в горизонтальной плоскости при проведении измерений. 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.

Для автоматизации процесса измерения распределения заряда разработан программный комплекс, состоящий из трех самостоятельных программ:

а) программы управления процессом измерения распределения заряда на поверхности токопроводящего элемента;

б) программы преобразования значений распределения заряда на поверхности токопроводящего элемента и определения ее суммарного заряда;

в) программы построения трехмерного графика распределения заряда на поверхности токопроводящего элемента.

Эти программы работают последовательно в порядке их перечисления.

Рассмотрены примеры определения площадок контакта при односточечном и двухточечном контакте колеса с рельсом. На основании экспериментальных результатов построены эпюры контактных напряжений по различным сечениям площадок 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.

СЕКЦИЯ II. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.921.34

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОАЛМАЗОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

В. И. Аверченков, В. В. Надуваев, Е. Н. Фролов
*ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический
университет», Российская Федерация*

На современном этапе промышленного развития постоянно растут требования к повышению производительности обработки, а также к качеству обрабатываемых рабочих поверхностей.

Такое состояние производства определяет постоянный рост применения различных синтетических сверхтвердых материалов, которые по своей твердости и прочности в 3–5 раз превышают обрабатываемый материал. Теоретические и экспериментальные исследования при производстве синтетических алмазов ведутся в направлении изыскания возможностей как наиболее эффективного использования их в традиционных областях, так и для расширения областей применения, а также в направлении разработки новых методов изготовления поликристаллических алмазов с заданными свойствами, обеспечивающими условия их дальнейшей эксплуатации.

Исходными материалами для производства (спекания) поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) могут служить как шлифпорошки алмазов синтетических (АС) зернистостей 5/3–14/10 мкм, так и синтетические ультрадисперсные алмазы (УДА) – наноалмазы, получаемые детонационным синтезом под воздействием энергии взрыва тротил-гексогена, размер наноалмазных частиц которых составляет 3–20 нм в зависимости от условий протекания процесса синтеза.

Наиболее распространенный способ спекания поликристаллических алмазов – предварительное холодное брикетирование шихты из наноалмазов, а затем – спекание в пресс-формах аппаратов высокого давления (АВД) с пропусканием импульса электрического тока. В настоящее время электроимпульсное спекание является наиболее перспективным методом активированного спекания ПСТМ. Спекание поликристаллических алмазов обычно осуществляется на специальных прессовых установках с усилием 5–10 МН. При этом в рабочей зоне камеры АВД создается давление 10–15 ГПа в диапазоне температур 3000–4000 К, в зависимости от требуемых характеристик спекаемых поликристаллических алмазов.

В настоящее время разработана широкая номенклатура инструментов из ПСТМ, имеющих различные физико-механические свойства, выбираемые в зависимости от обрабатываемого материала и условий эксплуатации алмазного инструмента. Так, на основании вышеизложенного были созданы варианты технологических процессов изготовления широкой гаммы конструкций алмазных инструментов различного назначения из ПСТМ. Представленные выше материалы показывают, что создание новых конструкций алмазного инструмента из ПСТМ позволяет не только значительно расширить область эффективного применения предлагаемого инструмента в различных отраслях металло- и камнеобрабатывающей промышленности, но

и в определенной степени исключить возможность использования инструментов из природных алмазов.

В заключение следует отметить, что, как показали предварительные исследования и расчеты технико-экономической эффективности, себестоимость инструментов из ПСТМ, изготавливаемых из наноалмазов, получаемых детонационным способом, в среднем в 8–10 раз ниже себестоимости инструментов, изготавливаемых из природных алмазов [1].

Литература

1. Надуваев, В. В. Перспективы использования инструментальных материалов СВ-алмазов в промышленности : справочник / В. В. Надуваев, Е. Н. Фролов // Иженер. журн. – 2009. – № 10. – С. 49–54.

УДК 621.762

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ, В МАШИНОСТРОЕНИИ

А. Ф. Ильющенко, В. В. Савич

Государственное научное учреждение

«Институт порошковой металлургии», г. Минск, Республика Беларусь

Одно из важнейших преимуществ порошковой металлургии (ПМ) – экономичное массовое производство изделий сложной формы, как правило, прессованием–спеканием – ТО (ХТО) без использования механической обработки резанием (либо при ее минимуме). В качестве дополнительной обработки может применяться пластическая деформация спеченной заготовки, ХТО, нанесение гальванических и иных покрытий. Освоено производство изделий из порошковых низколегированных сталей: детали планетарного редуктора стартера; шестерни; детали автомобильных амортизаторов (направляющая штока, поршень, корпус клапана сжатия); мелко-модульные цилиндрические зубчатые колеса; героторные пары гидравлических масляных и топливных насосов и др. Освоена технология совмещенного процесса «спекания–закалки» (sinter–hardening), которая позволяет достигать на выходе из печи у деталей из порошковой стали ПК70Н1,75Д1,5М0,5 твердости 40–45 HRC и прочности на изгиб 870–1130 МПа, что соответствует уровню свойств проката конструкционных сталей. По этой технологии выпускаются следующие детали: ролик; палец; сектор ключа-трещотки; фиксатор замка зажигания автомобиля; шпонки станочных тисков и др.

Важное преимущество ПМ – возможность создания композиционных материалов сложного химического и фазового состава, получить которые другими металлургическими методами принципиально невозможно. Такими являются спеченные фрикционные материалы, которые имеют медную или железную матрицу, в которой содержатся: компоненты, увеличивающие прочностные свойства матрицы (Mn, Cr, V, редкоземельные элементы и т. п.); твердая смазка (графит, дисульфид молибдена, свинец и т. п.) и добавки, обеспечивающие достижение высоких значений коэффициента трения (оксидная, нитридная и карбидная керамики). Разработана гамма новых спеченных фрикционных материалов – «Шадеф», ФМ-10, ФМ-12, превосходящих по своим эксплуатационным и функциональным характеристикам традиционный материал МК-5. Так, при работе без смазки коэффициент трения динамический находится в диапазоне 0,4–0,6 (0,09–0,14 – здесь и далее – при работе в масле);

коэффициент стабильности сил трения – 0,85–0,90 ($> 0,80$); интенсивность изнашивания – ≤ 5 мкм/км (≤ 2 мкм/км); допустимая удельная мощность трения 7–8 Вт/мм² (6–7 Вт/мм²). Организовано промышленное производство фрикционных дисков и тормозных колодок из них для отечественных (ОАО «МТЗ», ОАО «БЗТДиА», ОАО «БелАЗ», СП ОАО ГЭТЗ, ОАО «Амкодор» и др.) и зарубежных (ОАО «ПРОМ-ТРАКТОР», АО «Петербургский тракторный завод», ОАО «ММЗ» – Россия; ПАО «ХТЗ» и ПАО «Волчанский агрегатный завод» – Украина и др.) производителей автотракторной, дорожно-строительной, горно-добывающей и специальной техники.

Разработан ряд новых антифрикционных спеченных гетерогенных порошковых материалов на основе железа и меди. Для работы в режиме самосмазывания и ограниченной подачи смазки, при давлении до 25 МПа, скорости скольжения до 50 м/с, в диапазоне температур от –60 до +250 °С: пористые антифрикционные материалы на основе железа (пористость – 15–25 %, твердость – 70–120 НВ, ударная вязкость – 25–60 кДж/м², коэффициент трения – 0,01–0,1); пористые антифрикционные материалы на основе меди (пористость – 10–15 %, твердость – 40–80 НВ, ударная вязкость – 2–15 кДж/м², коэффициент трения – 0,03–0,1); высокоплотные композиционные материалы (пористость – 3–5 %; временное сопротивление – 450–850 МПа; твердость – 120–320 НВ; теплопроводность – 45–55 Вт/м·К; коэффициент трения – 0,01–0,08; интенсивность изнашивания (при $P = 2,8$ МПа, $v = 4$ м/с) – 45,1·10–12 мкм/км; максимальная рабочая температура – до 800 °С).

УДК 629.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЧЕННОГО ПОРОШКОВОГО ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ФМ-12 В УЗЛАХ ТРЕНИЯ СО СМАЗКОЙ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

А. Ф. Ильющенко, А. А. Дмитриевич, А. В. Лешок, А. Н. Роговой

Государственное научное учреждение

«Институт порошковой металлургии», г. Минск, Республика Беларусь

В Институте порошковой металлургии разработан и внедрен в серийное производство спеченный порошковый материал на основе меди ФМ-12 для эксплуатации в условиях смазки в узлы трения тракторов «Беларус». Узлами трения, использующими диски, являются: 1) муфта привода переднего ведущего моста трактора «Беларус» 250–350 л. с. (диск фрикционный 2522-1802035-01); 2) муфта привода переднего ведущего моста трактора МТЗ-100 (диск фрикционный 86-1802035А-01); 3) тормоз трактора «Беларус» 2022 (диск фрикционный 2022-3502015-А).

Спеченный порошковый фрикционный материал ФМ-12 представляет собой оловянистую бронзу с добавкой титана. Триботехнические характеристики материала при удельной нагрузке – $4 \pm 0,2$ МПа и скорости скольжения – 10 ± 1 м/с следующие: коэффициент трения динамический – 0,07–0,12; интенсивность износа – 2–4 мкм/км; коэффициент теплопроводности – 28–34 Вт/(м·°К).

Разработанный материал ФМ-12 обладает более высоким значением коэффициента трения и меньшим значением пика момента трения по сравнению с известным материалом на основе меди (МК-5). На рис. 1 приведены графики процесса торможения тормоза 2022-3502010 при использовании спеченного порошкового материала ФМ-12 (3500 циклов торможений).

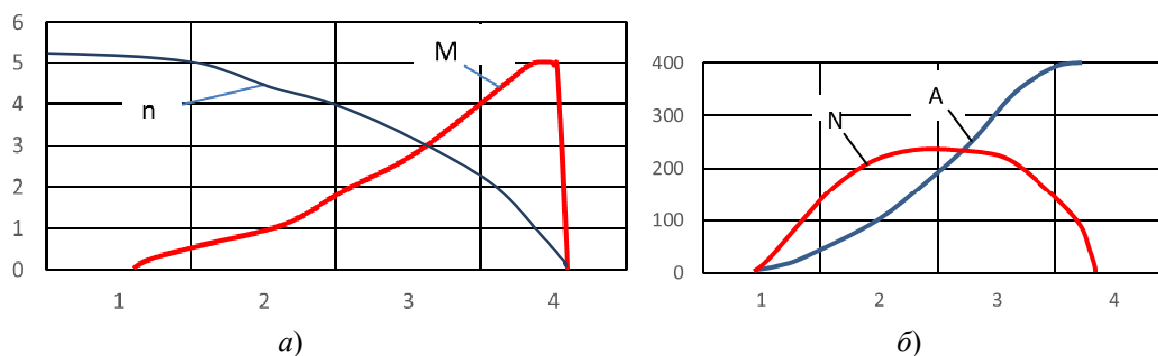


Рис. 1. Графики процесса торможения тормоза 2022-3502010 при проверке эффективности: n – число оборотов, об./мин; M – момент трения, Нм; N – мощность трения, кВт; A – цикловая работа трения, кДж

Работа трения, поглощаемая тормозом за одно торможение при ресурсных испытаниях, составляла 230–256 кДж, а при проверке эффективности в режиме торможения нагруженного трактора – 300–316 кДж. Пиковое значение тормозного момента при ресурсных испытаниях достигало 4250 Н · м, а при проверке эффективности – 4910 Н · м. Максимальная частота вращения вала тормоза составляла 983–992 об./мин. Тормоз обеспечивал требуемую эффективность: время торможения при нормальном усилии $2P = 600\text{Н}$ составило 2,5 с (требуемое значение по методике – не более 3,5 с).

Литература

1. Лешок, А. В. Молодечненский завод порошковой металлургии: настоящее, будущее / А. В. Лешок // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые материалы. Сварка : сб. докл. 8-го Междунар. симп. – Минск, 2013. – С. 161.
2. Материалы и конструктивные параметры фрикционных элементов механической трансмиссии тракторов / А. Н. Карташевич [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2013. – № 4. – С. 234.

УДК 621.791.72

МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЯ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

О. Г. Девойно, М. А. Кардаполова, Н. И. Луцко, А. С. Лапковский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Лазерная наплавка – это технология нанесения покрытий из материалов разной природы на металлическую подложку с использованием в качестве источника энергии лазерного луча. Особенностью лазерной наплавки является достижение высоких (до 10^7 Вт/м²) плотностей мощности, что обеспечивает возможность локального нанесения покрытия без объемного разогрева детали, в том числе в технологиях быстрого прототипирования. Весьма актуальным является исследование физико-механических свойств в зоне наплавки, чему и посвящена настоящая работа.

Лазерная наплавка производилась при мощности излучения лазера 1000 Вт на образцы из стали 45. В качестве наплавочного материала использовали порошок самофлюсующегося сплава – ПГ-12Н-01 грануляцией 20–80 мкм.

Из приведенных графиков распределения микротвердости по глубине слоя (рис. 1) видно, что, после того как на границе «основа–покрытие» происходит

возрастание величины микротвердости, в дальнейшем она находится примерно на одном уровне по всей глубине покрытия для каждого режима лазерной обработки, что может свидетельствовать о достаточно равномерном распределении фаз в покрытии. Графики изменения микротвердости в продольном направлении (рис. 2) показывают, что величина микротвердости находится на таком же уровне.

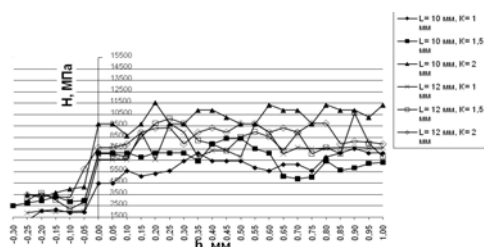


Рис. 1. Распределение микротвердости по глубине слоя ($V = 120$ мм/мин)

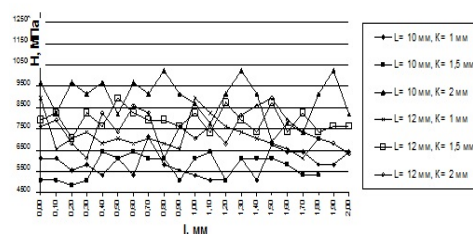


Рис. 2. Распределение микротвердости в продольном направлении ($V = 120$ мм/мин)

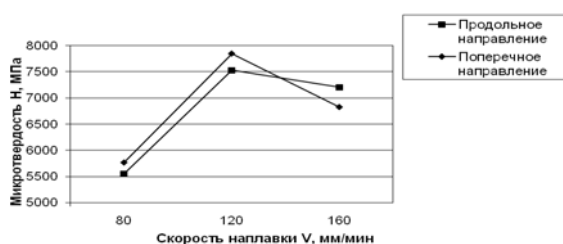


Рис. 3. Зависимость средней микротвердости от скорости наплавки

На рис. 3 приведены зависимости средней микротвердости покрытия от скорости наплавки. Такой характер зависимостей можно объяснить тем, что с изменением скорости наплавки меняется величина удельной энергии E , вводимой в покрытие. Видно, что при скорости наплавки 120 мм/мин энерговклад в покрытие обеспечивает образование оптимальной зернистости структуры, которая и дает высокое значение средней микротвердости.

УДК 621.793.2:539.234

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПЛЕНОК TiVN

Е. В. Телеш

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск

Пленки TiVN обладают уникальным сочетанием экстремальных термомеханических свойств, радиационной стойкостью, высокими твердостью, прочностью и износостойкостью, тугоплавкостью, химической инертностью и стойкостью, технологической и коммерческой значимостью [1]. Широко известны примеры эффективного использования TiVN для получения конструкционной керамики, при производстве абразивов, защитных покрытий, износостойких материалов.

Покрyтия из TiBN наносились на подложки из кремния методом реактивного ионно-лучевого распыления мишени из TiB₂ в среде аргона и азота. Перед нанесением покрытий осуществлялась ионная очистка подложек в течение 10 мин. Скорость нанесения составила 0,22–0,33 нм · с⁻¹.

Проведен рентгеноструктурный анализ покрытий, полученных при разных температурах подложки. Установлено, что при нагреве свыше 600 К происходит существенное упорядочение структуры покрытия (рис. 1), сопровождающееся ростом зерна и снижением электрического сопротивления.

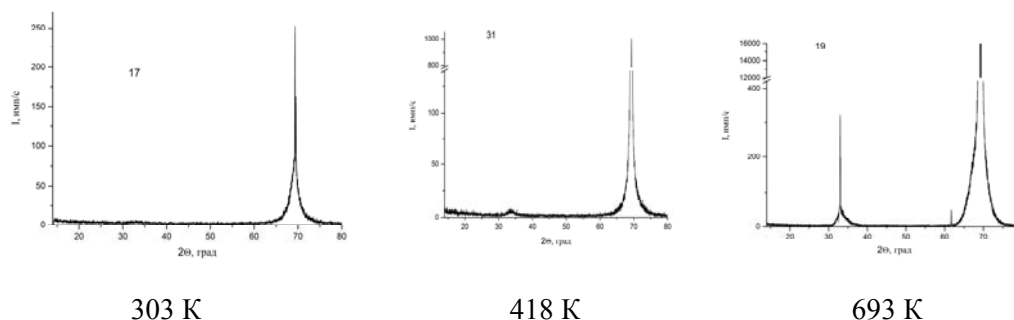


Рис. 1. Рентгенограммы пленок TiBN, синтезированных при разных температурах подложки

На рис. 2 приведены результаты исследования морфологии поверхности покрытий с применением атомно-силовой микроскопии.

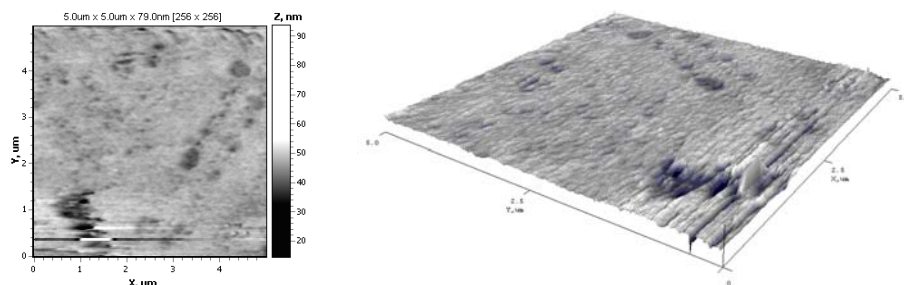


Рис. 2. АСМ изображения пленок TiBN, синтезированных при температурах подложки 693 К

Установлено, что величина зерна пленок TiBN, синтезированных при температурах подложки 693 К, составляет около 3 нм.

Литература

1. Structure and mechanical properties of TiBN coatings fabricated by dc reactive sputtering technique / L. Garcia-Gonzalez [et al.] // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 186. – PP. 362–366.

УДК 661.1+541.135

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ПРЕКУРСОРОВ ДЛЯ CVD-ПРОЦЕССОВ****Н. Н. Костюк, Т. А. Дик***Учреждение образования «Белорусский государственный
университет», г. Минск*

В современных технологических процессах модификации поверхности металлических деталей все большую роль играют процессы газофазного разложения летучих веществ (CVD-метод). Так, например, франко-швейцарской фирмой IonBorn осуществляется промышленный выпуск фасонных деталей с металлическим покрытием на основе CVD-процесса. Количество выпускаемых деталей исчисляется миллионами штук.

Использование CVD-метода модификации поверхностей деталей в массовом производстве требует больших количеств высококачественных прекурсоров. Наиболее востребованным типом прекурсоров являются хелаты переходных металлов и, в частности, 2,4-дикетонаты металлов. Главное требование к данному типу веществ – это наличие у них высокой степени очистки. Поставленной цели можно достигнуть двояким путем: доочисткой хелатов переходных металлов, выпускаемых по имеющимся технологиям, либо разработкой новых путей их синтеза, гарантирующих высокую степень чистоты целевого продукта.

Как показывают экспериментальные данные, очистка хелатов традиционными методами (перекристаллизация, сублимация и др.) приводит к получению ультрачистых веществ, но при этом значительно возрастает цена целевого продукта и ухудшаются параметры экологичности технологических процессов. В связи с этим нами проведено исследование возможности создания новых технологий получения ультрачистых хелатов переходных металлов.

На основе анализа литературных данных из 12 типов применяемых реакций для синтеза хелатов переходных металлов наиболее перспективными при получении ультрачистых соединений являются электрохимический метод и методы, базирующиеся на кислотно-основных превращениях веществ. Разработана высокоэффективная, универсальная, электрохимическая методика получения практически всех типов хелатов переходных и ряда р-металлов (кроме металлов платиновой группы). На базе кислотно-основных превращений разработан ряд методик получения хелатов меди (II), кобальта (II), никеля (II), цинка (II) и железа (II) и (III).

Использование кислотно-основных превращений для создания методики получения ультрачистых хелатов переходных металлов не позволяет создать универсальную технологию в связи с особенностями их химических свойств. Для каждого металла необходимо разрабатывать индивидуальную схему синтеза.

На основании разработанных нами методик синтеза были созданы лабораторные и опытно-промышленные технологии получения ультрачистых хелатов переходных металлов. Качество целевых продуктов контролировалось методами масс-спектрометрии с точностью до 10^{-14} г по отдельным видам примесей. Количество технологических стадий синтеза не превышало двух. С точки зрения экологичности (зеленой химии) разработанные технологии имеют исключительно низкое значение *E*-фактора (отношение массы всех побочных продуктов реакции или процесса к массе целевого продукта, в нашем случае оно составляет 0,006) и близкое к предельно возможному значению атомной эффективности (отношение молярной массы целево-

го продукта к суммарной молярной массе всех веществ уравнения реакции или процесса, в нашем случае оно составляет 99).

С экономической точки зрения технологии получения ультрачистых хелатов переходных металлов, основанные на перечисленных выше методах, позволяют получать целевой продукт с наименьшими затратами.

УДК 661.1+541.135

ПРЕКУРСОРЫ НА ОСНОВЕ ХЕЛАТОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ CVD-ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Н. Н. Костюк, Т. А. Дик

Учреждение образования «Белорусский государственный университет», г. Минск

В настоящее время в современном машиностроении все большую роль играют высокие технологии на базе процессов газофазного разложения летучих металлсодержащих веществ (CVD-метод). Наиболее распространенным классом таких летучих соединений являются 2,4-дикетонаты переходных металлов. Использование их в CVD-процессах позволяет получать на поверхности деталей любые типы металлсодержащих покрытий. Качество получаемых покрытий во многом зависит от степени чистоты 2,4-дикетонатов, применяемых в качестве прекурсоров. В связи с этим первая задача, которую следует решать при технологическом обеспечении CVD-процессов, – это получение ультрачистых 2,4-дикетонатов переходных металлов.

Получение высококачественных прекурсоров для CVD-процессов на основе хелатов переходных металлов осуществлено авторами путем системного анализа существующих методов синтеза данного типа соединений и планирования относительно несложных, но высокоэффективных методик синтеза ультрачистых веществ. На основе данных методик нами были получены 2,4-дикетонаты и их иминоаналоги для большинства переходных металлов.

В качестве примера получения качественных металлических никелевых пленок на поверхности деталей нами был использован синтезированный ультрачистый ди(ацетилацетонимино)-никель (II). Методами дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического (ТГ) анализов было проведено исследование его термического поведения. Получены термогравиметрические данные, анализ которых подтвердил способность ди(ацетилацетонимино)-никеля (II) испаряться при достаточно низких температурах. Наблюдалось его полное испарение и конденсация без разложения уже при 110 °С в вакууме (13,3 Па) и при 225 °С – в среде гелия (0,1 МПа). Расчет кривых ТГ показал, что процесс испарения хелата описывается уравнением для реакции нулевого порядка.

Исследования CVD-процесса разложения ди(ацетилацетонимино)-никеля (II) проводили в токе гелия с добавкой водорода при нормальном давлении. Температура в зоне испарения составляла в соответствии с данными ТГ 325 ± 5 °С. При температурах ниже 325 °С происходило испарение и конденсация вещества без разложения. Повышение температуры приводило к появлению на внутренней поверхности реактора блестящего металлического налета. Дальнейшее увеличение температуры разложения выше 370 °С сопровождалось заметным увеличением массы выделяющейся металлической пленки. Максимальное выделение металлического никеля установлено в интервале температур 365–400 °С.

Вторым после температуры разложения фактором, влияющим на выделение металлического никеля для использованного реактора, является скорость потока гелия. В целом значения, превышающие 60 % выделения никеля, соответствуют скорости газового потока в реакторе в интервале 25–35 мл/мин. Была исследована возможность получения никелевых покрытий для различных типов подложек: сталь, чугун, цветные сплавы и керамические подложки.

Таким образом, была продемонстрирована эффективность разработанных методов синтеза, позволяющих получать ультрачистые хелатные соединения в качестве прекурсоров для получения высококачественных металлических покрытий.

УДК 542.943-92'78:546.47:678.742.2

ПЕРЕХОД ОТ СИНЕРГИЗМА К АНТАГОНИЗМУ ПРИ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНА СМЕСЯМИ ИРГАНОКСА 1010 И ОКСИДА ЦИНКА

Д. Г. Лин, Е. В. Воробьева

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

Полиэтилен легко подвержен термоокислению и проблема его термостабилизации по-прежнему является актуальной для современной химии и технологии полимеров. Известно, что наиболее эффективна стабилизация с использованием антиоксидантов или смесей антиоксиданта и веществ, увеличивающих его антиокислительную способность (явление синергизма). В работе [1] приведены экспериментальные данные, показывающие неаддитивное увеличение термоокислительной стойкости полиэтилена при одновременном введении в полимер антиоксиданта ирганокса 1010 и оксида цинка, а также сделана попытка объяснить механизм этого синергетического явления. Целью настоящей работы явилось выявление условий или границ проявления синергетического влияния оксида цинка на термостабильность полиэтилена, стабилизированного антиоксидантом ирганокс 1010.

Основным объектом исследований являлся порошкообразный нестабилизированный полиэтилен низкого давления (ГОСТ 16338–85, марка 20308-005), в который вводили антиоксидант ирганокс 1010 и соединения цинка. Из полученных композиций методом термического прессования (температура 150 °С, время 30–90 с) получали пленки. Степень окисления пленочных образцов определяли по содержанию в полиэтилене карбонильных групп, используя для этого метод ИК-спектроскопии. За продолжительность индукционного периода окисления (ИПО) принимали время окисления, необходимое для достижения в пленке показателя экстинкции, равного 3–4 %.

Результаты проведенного эксперимента показали, что на термостабильность образцов, ингибированных ирганоксом 1010 в сочетании с оксидом цинка, определяющим образом влияет размер частиц металлсодержащей добавки. Так, если в полимер вводить микродисперсные частицы оксида цинка, то при концентрации ингибитора 0,1 % мас. ИПО композитного материала увеличивается с 31 до 47 ч, т. е. наблюдается синергизм антиоксиданта в сочетании с оксидом цинка. Однако, если в ингибированный полиэтилен в качестве добавки вводить наноразмерный оксид цинка, то достигается обратный эффект – ИПО композитного материала сокращается, т. е. проявляется антагонизм цинксодержащих соединений и ирганокса 1010. Так, при температуре окисления 150 °С ИПО полиэтилена, содержащего только антиоксидант, составляет 31 ч, а при дополнительном введении наночастиц оксида цинка в

количестве 1 и 10 % мас. ИПО уменьшается до 12 и 3 ч, соответственно. Этот факт объясним тем, что при использовании в качестве добавки нанодисперсного оксида цинка антиоксидант не покрывает всю поверхность частиц, а значит, имеет место прямой контакт неингибированного полимера с оксидом цинка. В зоне контакта образуются растворимые соли цинка, которые активно катализируют процесс окисления [2], [3] и резко снижают термостабильность полиэтилена.

Литература

1. Марченко, Н. В. Ингибирование окисления полиэтилена, содержащего активные металлические наполнители / Н. В. Марченко, Д. Г. Лин, Е. В. Воробьева // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2007. – Т. 12, № 3. – С. 59–65.
2. Egorenkov, N. I. Study of oxidation and Adhesion of Filled Stabilized Polyethylene / N. I. Egorenkov, D. G. Lin, V. A. Belyi // *Journal of Adhesion*. – 1976. – Vol. 7. – P. 269–277.
3. Лин, Д. Г. Практическое использование эффекта увеличения ингибирующей способности фенольного антиоксиданта в условиях контакта полимера с цинком / Д. Г. Лин, Е. В. Воробьева // *Композиционные материалы в промышленности : материалы Международ. конф., Ялта, Крым, 1–5 июня 2009 г. / УИЦ «Наука. Техника. Технология»*. – Киев, 2009. – С. 16–18.

УДК 678.019.396:678.742.2:544.032.1:542.943

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК НА ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНУЮ СТОЙКОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНА

Д. Г. Лин, Е. В. Воробьева

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

Термопластичные полимерные материалы или изделия в своем составе почти всегда имеют антиокислительные добавки или антиоксиданты. Даже невысокое содержание этих добавок (до 0,5 %) существенно увеличивает период активной эксплуатации полимера. По истечении этого срока изделие или материал резко теряет механическую прочность, эластичность. К сожалению, промышленные антиоксиданты, вводимые в полимер, неравномерно распределяются в нем, выпотевают на поверхность, испаряются [1], [2]. Цель настоящей работы – оценить влияние условий хранения полиэтилена, содержащего антиоксидант неозон Д, на термоокислительную стойкость полимера.

Образцы для исследований получали методом термического прессования полимерных композиций порошкообразного нестабилизированного ПЭНД (ГОСТ 16338–85, марка 20308-005) и антиоксиданта неозона Д (β -фенилнафтиламин, ГОСТ 39–79). Степень окисления пленочных образцов определяли по содержанию в полиэтилене карбонильных групп, используя для этого метод ИК-спектроскопии. За продолжительность индукционного периода окисления (ИПО) принимали время окисления, необходимое для достижения в пленке показателя экстинкции, равного 3–4 %.

Как видно из представленных данных (рис. 1), хранение полимерных образцов в растворителе (ацетон) приводит к сокращению ИПО с 9 ч (рис. 1, кривая 1) до 5,5 ч (рис. 1, кривая 2). Очевидно, сокращение ИПО образцов на 40 % в данном случае обусловлено вымыванием антиоксиданта растворителем.

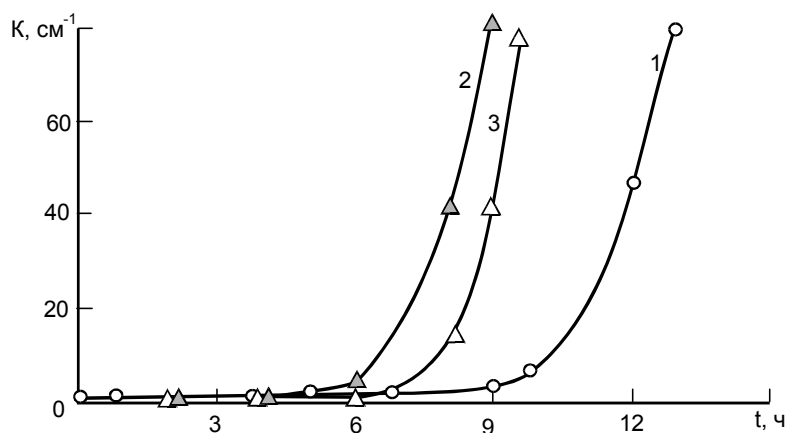


Рис. 1. Изменение показателя экстинкции полосы поглощения 1720 см^{-1} , $K, \text{ см}^{-1}$ в ИК-спектрах полиэтилена, содержащего 1 % мас. неозона Д от продолжительности термоокисления пленок $t, \text{ ч}$, при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$

Условия хранения пленок перед испытаниями:

- кривая 1: 48 ч при комнатной температуре (контрольная пленка);
- кривая 2: 48 ч в растворе ацетона;
- кривая 3: 48 ч при $-15 \text{ }^\circ\text{C}$.

К аналогичным результатам приводит хранение образцов полиэтиленовых пленок при пониженной температуре ($-15 \text{ }^\circ\text{C}$), продолжительность ИПО уменьшилась до 7 ч (рис. 1, кривые 1, 3), т. е. на 22 %. Такой результат можно объяснить вытеснением сорбированного (находящегося в центрах сорбции) ингибитора на границы кристаллитных надкристаллитных образований полимера. В обоих случаях хранения стабилизированных полиэтиленовых пленок происходит снижение термоокислительной стойкости за счет удаления антиоксиданта из полимерной матрицы.

Литература

1. Migration of phenolic antioxidants from linear and branched polyethylene / M. Lundbäck [at al.] // Polymer Degradation and Stability. – 2006. – Vol. 91, № 7. – P. 1571–1580.
2. Vorobyova, E. V. Some features of the physical behavior of Irganox 1010 used for terminal oxidative stabilization of polyethylene / E. V. Vorobyova, D. G. Lin // ISJ Theoretical & Applied Science. – 2016. – Vol. 39, № 7. – P. 17–27.

УДК 621.778

ИСПЫТАНИЕ БЕЗАСБЕСТОВЫХ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОАО «БМЗ» (г. ЖЛОБИН)

А. И. Рожков, А. Д. Корчак

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК», г. Жлобин,
Республика Беларусь

Приказ Министерства промышленности Республики Беларусь о запрете на использование асбестосодержащих материалов на ОАО «Белорусский металлургический завод» – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» поставил перед специалистами задачу найти новые материалы для использования во фрикционных накладках тормозов.

Испытания фрикционных накладок [1] проводились на тормозах механизма главного подъема кранов отделения подготовки лома копрового цеха.

Первым испытываемым материалом стал Трибонит TP9-01 украинского производства, но результаты оказались неудовлетворительными. Стойкость тормозных накладок оказалась в разы меньше асбестосодержащих. Если у накладок из других материалов износ и выход из строя выражается в их стачивании, уменьшении толщины, то износ накладок из материала Трибонит TP9-01 приводит к их разрушению на несколько частей. Подобное разрушение вызывает неудобство при работе обслуживающего персонала: сложно спрогнозировать срок их выхода из строя, в отличие от накладок из других материалов, где выход из строя происходит после уменьшения их толщины. Это требует еженедельного осмотра тормозных накладок, в отличие от ежемесячных, при промышленно используемых материалах.

Было принято решение обратиться в ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси» (г. Гомель), который имеет большой опыт разработки фрикционных материалов. Сотрудники института изготовили более 40 накладок тормозных ВМЗК-1. При внешнем осмотре на поверхности некоторых накладок были обнаружены небольшие поверхностные трещины. Дальнейший опыт эксплуатации показал, что небольшие поверхностные дефекты не сказываются на работе накладок. Других замечаний по работе накладок не выявлено. Срок службы накладок в среднем составил один месяц, что соответствует уровню срока службы промышленно используемых накладок зарубежного производства.

В настоящее время рассматривается вопрос испытания аналогов накладок тормозных ВМЗК-1 на всех кранах ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК».

Л и т е р а т у р а

1. Справочник по триботехнике : в 3 т. / под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1991. – Т. 3 : Триботехника антифрикционных, фрикционных и сцепных устройств. Методы и средства триботехнических испытаний. – 730 с.

УДК 621.891

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА И ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

А. А. Сементовская

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

При создании фрикционных материалов, используемых в тормозных узлах трения и трансмиссиях машин, особое значение имеют не только свойства самого композита, но и особенности его воздействия на контртело при трении – металлический тормозной диск [1], [2]. Современные коммерческие фрикционные материалы, содержащие каучук, вулканизированный серой, в качестве полимерной матрицы и минеральные дисперсные наполнители, достаточно интенсивно изнашивают контртело. Одной из причин снижения износостойкости металлического контртела является наличие в композите разупрочняющих металл элементов, таких как сера. Поэтому поиск способов снижения интенсивности изнашивания металлического контртела в процессе высокотемпературного трения является актуальной задачей современного материаловедения [3], [4].

Цель работы – исследование возможности вулканизации каучука фенолоформальдегидными смолами. Преимущество такого подхода заключается в хорошей совместимости компонентов, а именно – каучуковой и фенольной фаз, а также исключение из состава связующего серы.

Для проведения исследований были выбраны масло- и бензостойкий бутадиен-нитрильный каучук, фенолоформальдегидная смола новолачного типа (Н) и фенолоформальдегидная смола резольного типа (Р). Использовалось два растворителя: этилацетат (ЭА) и метилэтилкетон (МЭК), а также катализатор и ускорители вулканизации определенного состава.

Были подготовлены три группы образцов: на основе каучука и смолы новолачного типа, каучука и смолы резольного типа, каучука и смеси смол. Изготовление смесей осуществляли методом растворения отдельных компонентов и последующем их смешиванием друг с другом. После смешивания каждая смесь помещалась в открытые металлические формы и подвергалась ступенчатому нагреву до температуры 140 °С в течение 5 ч.

Для всех смесей и исходных компонентов были получены ИК-спектры. ИК-анализ проводили на приборе ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700. Прохождение реакции определяли по снижению интенсивностей пиков характерных групп исходных компонентов. По результатам ИК-спектроскопии взаимодействие между каучуком и смолами было обнаружено для образцов, составы которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы образцов, подготовленных с использованием смол, катализатора и добавок

Номер	Растворитель	Смола, %	Катализатор, %	Ускорители реакции, %
1	МЭК	Н, 50	–	–
2	ЭА	Н, 50	5	–
3	МЭК	Р, 50	5	–
4	МЭК	Р, 50	5	5
5	ЭА	Н 25 + Р, 25	–	–
6	ЭА	Н 25 + Р, 25	5	–
7	МЭК	Н 25 + Р, 25	5	–
8	МЭК	Н 25 + Р, 25	5	5

Для смесей, указанных в табл. 1, был выполнен динамический механический анализ (ДМА) на приборе марки DMAQ600, а также исследован процесс набухания в бензине.

Установлено, что вулканизация каучука фенолоформальдегидными смолами проходит по механизму Ван дер Меера, согласно которому образование поперечных связей происходит с отщеплением атома водорода от метиленовой группы, находящейся в молекуле каучука в аллильном положении [5]. Предполагается, что составы, в которых прошла реакция вулканизации, обладают хорошими механическими и химическими свойствами. Для сравнения показателей был приготовлен образец на основе каучука и серы, в котором массовая доля серы составила 4 % от содержания каучука.

Экспериментально установлено, что наилучшими свойствами обладают смеси на основе БНК и резольной смолы, а также смеси смол в метилэтилкетоне. Значение модуля упругости для данных композитов выше, чем для базового состава с серой, результаты анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Определение модуля упругости, Мпа,
смесей при различных температурах на различных частотах**

Т °С Номер	1 Гц				10 Гц			
	40	100	160	180	40	100	160	180
3	19	15	12,5	12,2	23	18	15	14
7	28	15	12	10	32	21	13	12
8	120	70	40	35	140	80	50	40
Сера 4 %	2,7	1,2	0,5	0,5	3,5	2	1	1

Показано, что образцы смесей обладают более высокой стойкостью к действию углеводородных растворителей, степень набухания ниже, чем для образца с серой.

Таким образом, фенольная вулканизация является перспективным методом отверждения каучуков для получения эластичной полимерной матрицы высоконаполненных фрикционных материалов.

Литература

1. Кноп, А. Фенольные смолы и материалы на их основе / А. Кноп, В. Шейб. – М. : Химия, 1983. – С. 54–65.
2. Гармонов, И. В. Синтетический каучук / И. В. Гармонов. – Л. : Химия, 1976. – С. 450.
3. Химия и технология синтетического каучука / Л. А. Аверко-Антонович [и др.]. – М. : Химия ; КолосС, 2008. – 357 с.
4. Saffar, A. Effect of rubber component on the performance of brake friction materials / A. Saffar , A. Shojaei // Wear. – Vol. 274. – 2012. – P. 286–297.
5. Van der Meer, S. The Vulcanization fo Rubber With Phenol Formaldehyde Derivatives / S. Van der Meer // Recueil des Travaux Chimiques. – 1944. – Vol. 63. – 147 p.

УДК 621.778

**УТИЛИЗАЦИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ,
ПЛАКИРОВАННОЙ АЛЮМИНИЕМ**

А. И. Рожков¹, А. И. Рожков¹

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК», г. Жлобин,
Республика Беларусь*

А. В. Козлов², А. Н. Вершинин²

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

В электроэнергетике, в отличие от других отраслей, практически нет экологических проблем. Генерирование, преобразование, транспортировка и потребление электроэнергии практически не вызывает выбросов, загрязнений, образования отходов производства. Вредное воздействие электромагнитного излучения, вибрации и

шума, возникающих при этом, достаточно легко нивелируются экранированием, ограждением, шунтированием и т. д. Утилизация отработавших свой срок электрических машин тоже не представляет серьезных проблем: они разбираются на лом черных, цветных и драгоценных металлов, органические соединения и реализуются в соответствующие специализированные организации. А утилизация отработавшей проволоки, плакированной алюминием, представляет сложную экологическую проблему, поэтому решение ее даст как экологические, так и, возможно, экономические выгоды.

Плакирование – метод нанесения тонкого защитного слоя алюминия на поверхность стальной проволоки, при котором происходит холодная сварка металлов за счет большой сдавливающей силы. Главной особенностью этого метода является взаимная диффузия молекул металлов без нагрева на глубину до 5 мкм [1]. Стальная проволока, плакированная алюминием, давно используется в распределительных сетях проводного вещания в городах и между населенными пунктами [2]. В последнее время она находит все большее применение. По этой причине наблюдается постоянный рост отходов такой проволоки, причем эта проблема усугубляется крайне неравномерным характером образования обрывков. Провода обрываются во время шквалистых ветров, которые имеют непериодический характер на территории Республики Беларусь. Образование обрывков проводов носит стихийный характер. Неравномерный характер образования практически исключает закупку какого-либо специального оборудования для утилизации, так как оно то будет перегружено, то будет простаивать месяцами. На ОАО «Белцветмет» за многолетний период скопилось около 250 т обрывков стальной проволоки, плакированной алюминием. Алюминиевые заводы их не берут из-за наличия там железа, а ОАО «БЕЛВТОРЧЕР-МЕТ» не принимает, так как в них содержится алюминий.

Отсутствие собственной сырьевой базы в Республике Беларусь заставляет бережно относиться к каждому килограмму металла. На Белорусском металлургическом заводе при изготовлении многих марок сталей их раскисляют алюминием. Поэтому был рассмотрен вариант загрузки обрывков проводов вместе с металлоломом. Стальная составляющая пойдет на изготовление стали, а алюминий или сгорит, выступив в роли топлива, и улетит вместе с пылью, или раскислит сталь. Проведенные исследования показали, что раскисление стали незначительно, и полученная сталь с использованием проволоки, плакированной алюминием, соответствует требованиям ГОСТа 2787–75 «Металлы черные вторичные», вид 13А «Стальные канаты и проволока».

На Белорусском металлургическом заводе в течение месяца можно переработать около одного-двух вагонов стальной проволоки. Таким образом, многолетнее накопление проводов, плакированных алюминием, будет утилизировано в течение нескольких месяцев. В результате проделанной работы был найден способ применения достаточно специфического отхода производства, который позволит переработать как его многолетние накопления, так и все возрастающие новые объемы.

Л и т е р а т у р а

1. Рабкин, Д. М. Дуговая сварка алюминия и его сплавов / В. Г. Игнатъев, И. В. Довбищенко. – М. : Машиностроение, 1982. – 95 с.
2. Кузин, П. В. Наладка элегазового оборудования / П. В. Кузин, И. А. Якобсон. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.

УДК 620.178.3

К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЕРИОДА ПРЕЦИЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАЛИ Р6М5 ПРИ ЕЕ КОНТАКТНОМ ИЗНАШИВАНИИ

И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков

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

Разрушение поверхностного слоя при контактном изнашивании инициируется структурными повреждениями во внутренних и внешних слоях материала [1], [2]. В первом случае способность поверхностного слоя противостоять микропластическим деформациям имеет решающее значение. Во втором – усиливается влияние профиля контактной поверхности. Снижение шероховатости является одним из путей повышения износостойчивости при действии пульсирующих контактных напряжений величиной до 1000 МПа, что продуктивно проявляется при изготовлении зубчатых колес и подшипников качения. При более высоких контактных нагрузках усиливается воздействие структурной неоднородности поверхностного слоя металла. Этот фактор весомо проявляется при эксплуатации инструмента для холодной объемной штамповки, изготовленного из сталей ледебуритного класса. Карбидные включения сплава являются концентраторами напряжений. На их границе с металлической матрицей генерируются дислокации, которые служат источником подповерхностных трещин, вызывающих образование питтингов [3]. Локальная концентрация касательных напряжений, возникающих на некоторой глубине от контактной поверхности, усиливается в окрестности включений. Для снижения негативного влияния частиц предложено использовать технологическую смазку, модифицированную порошковой присадкой из сплава металлов, отличающегося свойствами сверхпластичности. Ожидаемое повышение износостойчивости при воздействии на поверхность пульсирующих нагрузок гипотетически обусловлено способностью присадочного материала плакировать контактную поверхность и создавать на ней тонкую прослойку «третьего тела», отличающуюся низким сопротивлением сдвигу, что обеспечивает рассеяние энергии дислокаций и предупреждает образование микротрещин. Экспериментальную проверку гипотезы проводили на образцах из стали Р6М5. Выявлено, что плакирование приводит к формированию на контактной поверхности тонкой прослойки «третьего тела» толщиной около 3 мкм (рис. 1).

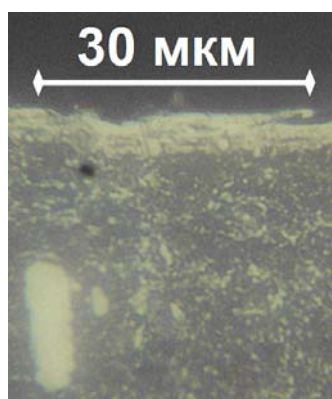


Рис. 1. Плакированный слой стали Р6М5

Ее появление сдерживает процесс зарождения поверхностных микродефектов в основном материале. В результате удлиняется период контактного нагружения поверхности, в течение которого не происходит разрушение поверхностного слоя и изнашивание быстрорежущей стали. Длительность периода прецизионной стойкости поверхностного слоя, в течение которого контролируемый износ не превышает 0,03 мм, составляет не менее 10 тыс. циклов нагружения при амплитуде контактного напряжения 1300 МПа. Данный показатель является достаточно привлекательным результатом для использования достигнутого эффекта при производстве сложнопрофильных изделий чеканкой и другими видами холодной объемной штамповки.

Л и т е р а т у р а

1. Sheng, L. A fatigue model for contacts under mixed elasto-hydrodynamic lubrication condition / L. Sheng, A. Kahraman // International Journal of Fatigue. – 2011. – Vol. 33. – P. 427–436.
2. Beheshti, Ali On the prediction of fatigue crack initiation in rolling/sliding contacts with provision for loading sequence effect / Ali Beheshti, M. M. Khonsari // Tribology International, 2011. – Vol. 44. – P. 1620–1628.
3. Chen, L. Study on initiation and propagation angles of subsurface cracks in GCr15 bearing steel under rolling contact / L. Chen, Q. Chen, E. Shao // Wear. – 1989. – Vol. 133 (2). – P. 205–218.

УДК 621.762

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРИТИЧЕСКОЙ УПРУГОЙ ОСТАТОЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ПОРОШКОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

А. М. Урбанович, Ю. Л. Бобарикин

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

Процесс плакирования порошковыми покрытиями металлической основы заключается в совместной пластической деформации основы и металлического порошка деформирующим инструментом. Покрытие может иметь различное функциональное назначение, определяемое свойствами порошка.

Релаксационные процессы оказывают влияние на образование соединения между плакирующим слоем и основой. Определение закономерностей их протекания будет способствовать рациональному планированию режимов обработки, обеспечивающих качественное соединение и, как следствие, будет обеспечивать достаточные эксплуатационные свойства получаемых слоистых материалов.

Целью исследований является определение величины критической упругой остаточной деформации в зоне контакта.

При проведении опытов было установлено, что с течением времени, прошедшего после плакирования, прочность соединения понижается, а в ряде случаев соединение разрушается. Постепенное понижение прочности соединения связано с нарушением геометрической формы поверхностей излома, затрудняющим сближение до физического контакта. С точки зрения физических основ холодной сварки наиболее существенным является экспериментальное подтверждение возможности схватывания в холодную практически всех металлов. Однако их свариваемость, оцениваемая способностью к образованию прочного соединения, весьма различна. Это можно объяснить тем, что для некоторых металлов и сплавов узлы схватывания, образовавшиеся при совместной деформации, после снятия нагрузки, вызывающей эту деформацию, разрушаются.

С учетом вышесказанного металл покрытия и основы в узлах схватывания могут растянуться без разрушения на определенную критическую величину.

На эту критическую величину будут влиять такие факторы, как химическая совместимость соединяемых металлов, подготовка металлической основы перед плакированием, технология нанесения и пр.

Получена зависимость для определения величины критической упругой остаточной деформации в узлах схватывания металла покрытия и основы без разрушения после снятия нагрузки:

$$z_{\text{кр}} = \frac{3Px_{\text{кр}}^2}{E_1 d_0^3} + \frac{3Px_{\text{кр}}^2}{E_2 d_0^3},$$

где P – усилие деформирования; $x_{\text{кр}}$ – расстояние, на котором начинается образование критического зазора между двумя взаимодействующими телами, достаточного для разрыва образовавшегося соединения; E_1 и E_2 – модули упругости контактирующих материалов; d_0 – диаметр отпечатка порошка в основе.

Таким образом, свариваемость можно связать с пластичностью материала, однако не с его технологической пластичностью, оцениваемой удлинением при комнатной температуре, а со склонностью к хрупкому разрушению в неблагоприятных условиях.

Из представлений о влиянии остаточных напряжений на качество соединения металлов пластической деформацией связь условий холодной сварки с хладнохрупкостью материала носит феноменологический характер и ее следует рассматривать лишь как рабочую гипотезу.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПОКРЫТИЯ

А. Т. Бельский

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

Когезия покрытия, в отличие от адгезии, характеризует сцепление частиц порошка друг с другом внутри самого покрытия, обусловленное химическими связями и межмолекулярным взаимодействием. Прочность этих связей, или когезионная прочность, зависит от многих причин и при этом всегда меньше прочности исходного материала покрытия. В настоящее время практически не существует единого метода оценки когезионной прочности покрытия непосредственно на изделии.

Анализируя различные методы испытаний на прочность покрытий, в качестве аналога был выбран способ навивки образца на сердечник определенного диаметра. С этой целью была спроектирована и изготовлена установка, позволяющая определять угол загиба образца до появления признаков разрушения покрытия.

Испытанию на когезию подвергались покрытия, которые были получены из порошкового материала на длинномерном изделии в процессе его волочения. Длинномерное изделие протягивали через волочильный инструмент, в рабочий конус которого подавался порошковый материал. Активными силами трения порошок увлекался проволокой в деформационную зону волоки, где происходили деформации как частиц порошка металла покрытия, так и длинномерного изделия.

В результате их деформаций происходит увеличение и обновление контактной поверхности, повышение потенциальной энергии атомов и выделение тепла. Весь комплекс физико-химических явлений, происходящих как внутри порошкового слоя, так и на поверхности проволоки, приводит к получению соединения в твердой фазе и образованию покрытия.

Исследованию на когезию подвергались покрытия из порошков металлов на длинномерном изделии, полученные при различных условиях формирования и последующей термической обработке.

На рис. 1 представлена зависимость изменения угла загиба образца с покрытием, полученным из порошка свинца марки ПС2, на медной проволоке с исходным диаметром $d_{п} = 5,53$ мм.

Аналогичный характер наблюдается и для других защитных покрытий.

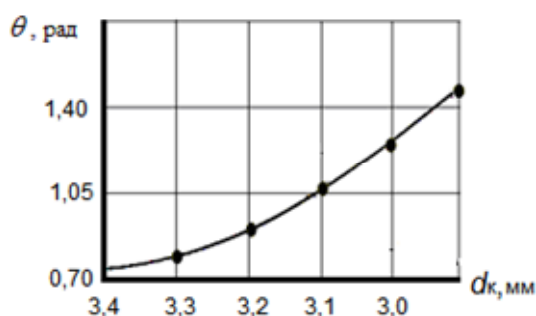


Рис. 1. Зависимость изменения угла загиба образца с покрытием, полученным из порошка свинца марки ПС2, на медной проволоке с исходным диаметром $d_{п} = 5,53$

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) при увеличении степени деформации при формировании покрытия наблюдается повышение когезии покрытия;
- 2) увеличение температуры нагрева образцов с покрытием, а также продолжительность выдержки при повышенной температуре улучшает когезионные свойства покрытия;
- 3) для получения покрытия с лучшими когезионными свойствами необходимо использовать мелкодисперсные порошки металлов;
- 4) скорость волочения при формировании покрытия оказывает различное влияние на когезионные свойства покрытия и зависит от степени деформации.

Л и т е р а т у р а

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учеб. для вузов / В. Н. Анциферов [и др.]. – М. : Металлургия, 1987. – 792 с.

УДК 621.892

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ

М. Н. Верещагин¹, И. В. Агунович¹,
И. М. Крижевский², И. Ю. Симонюк², А. В. Купреев²

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

Композиты, в которых матрицей служит полимерный материал, являются одним из самых многочисленных и разнообразных видов материалов. Разработка новых полимерных композитов (ПК) интересна с той точки зрения, что невысокая стоимость и коммерческая доступность термопластичных полимеров и металлических наполнителей (особенно, когда они являются отходами производства), возможность использования традиционных технологий и оборудования для получения ПК обеспечивают высокую экономичность их производства и внедрение этих материалов в машиностроение.

В ходе работы исследовались модельные составы фрикционных композитов на основе фенолформальдегидных смол, минеральных и металлических наполнителей (см. таблицу). Массовая доля металлических наполнителей в композите составляет 15 %.

Металлические наполнители для фрикционных материалов

Наименование наполнителя	Номер образца	Форма частиц наполнителя	Размер частиц наполнителя
Бр.НФ2-1	1	Сферическая	63–100 мкм
Фибра 2	2	Волокнистая	2 мм
Фибра 6	3	Волокнистая	6 мм

Цель работы – исследование влияния металлических наполнителей на трибологические и прочностные характеристики фрикционных композитов.

Для определения трибологических характеристик использовались цилиндрические образцы диаметром 16 мм, высотой 25 мм. Механические испытания проводили на машине Instron 5567 с программным обеспечением Merlin. Вид испытаний: статическое одноосное сжатие по ГОСТ 4651–82 со скоростью 0,5 мм/мин. Триботехнические испытания проводились на машинах трения 2070 СМТ-1 и И-32. Потерю массы определяли с использованием аналитических весов с допускаемой погрешностью измерения не более $\pm 0,0001$ г. Контроль объемной температуры образца осуществлялся ХК (хромель-копель) термопарой на расстоянии 1,0–1,5 мм от поверхности трения, подключенной к автоматическому потенциометру типа КСП-4. Испытания образцов проводились без смазочного материала.

Установлены зависимости коэффициента трения от времени испытаний, температуры и нагрузки. Определена интенсивность изнашивания исследуемых композитов. Показано, что среди других исследуемых ПК наибольшим коэффициентом

трения и минимальной интенсивностью изнашивания обладают ПК, модифицированные сферическими частицами Бр.НФ2-1. Стабильность коэффициента трения во времени композитов, наполненных фиброй 2 мм и фиброй 6 мм, меньше, чем у композитов, наполненных Бр.НФ2-1.

УДК 537.531:678.073:678.046

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИОПОГЛОЩЕНИЯ**

В. А. Банний¹, И. В. Царенко²

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», Республика Беларусь*

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

Существование человечества сегодня не представляется возможным без использования энергии электромагнитного излучения (ЭМИ), генерируемого различными искусственными источниками. В связи с интенсивным развитием радио- и электронной техники к естественному фоновому радиоизлучению добавились новые источники ЭМИ: системы навигации и радиолокации, радиоастрономия, сотовая и спутниковая связь, радиотехнические установки, бытовая и медицинская радиотехника, радиоспектроскопия и др. Во многих из этих технических систем используется энергия электромагнитных волн (ЭМВ) сверхвысоких частот (СВЧ), охватывающая полосу радиочастот от 3 до 30 ГГц. При эксплуатации радиотехнических систем СВЧ возникают проблемы электромагнитной безопасности. Повышенные уровни электромагнитных полей и ЭМИ оказывают отрицательное влияние на биологические объекты, организм человека. Кроме этого, паразитные переотражения и интерференция ЭМВ могут быть серьезным источником помех для эффективного функционирования технических устройств СВЧ. Они обостряют проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем защиты информации.

Эффективным средством обеспечения требований электромагнитной экологии, электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности являются электромагнитные экраны (ЭМЭ) из композиционных радиопоглощающих материалов (РПМ) на основе термопластов.

Данная работа посвящена изучению влияния температуры переработки и формирования композиционного РПМ на основе полиэтилена высокого давления (ПЭ, ГОСТ 168030–70) и карбонильного железа (ТУ 6-09-300–78) на такие функциональные характеристики, как коэффициенты отражения и ослабления энергии ЭМИ. Экспериментальные пластинчатые образцы РПМ (размерами 23 x 10 x 3 мм) изготавливали методом термического прессования из порошкообразных смесей ПЭ и ферромагнитного наполнителя в соотношении 1 : 1 (по массе) при различных температурах. Время действия давления $P = 10$ МПа составляло 10 мин. Средний размер частиц наполнителя составлял 10 мкм. Радиофизические параметры полимерных наполненных РПМ оценивали рефлектометрическим методом по коэффициентам отражения и ослабления энергии СВЧ-излучения на измерителе панорамном Р2-61 в диапазоне частот от 8 до 12 ГГц.

Установлена корреляция между температурой формирования РПМ на основе карбонильного железа и ПЭ и величинами, характеризующими ослабление энергии проходящего ЭМИ и коэффициент отражения падающей на экран ЭМВ. Это обусловлено зависимостью радиофизических характеристик от степени окисления частиц железа при разных температурах формирования РПМ. Показано, что ЭМЭ толщиной 3 мм, сформированные при температуре 210 °С, соответствующей максимуму адгезии ПЭ к железу, характеризуются минимальным значением отражения падающей на экран ЭМВ и ослабления энергии проходящего ЭМИ. Установлено отрицательное влияние длительной экструзионной переработки на механические характеристики материала.

УДК 621.762

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОГО ПОЛОСОВОГО МАТЕРИАЛА

С. В. Шишков, Ю. Л. Бобарикин, А. М. Урбанович

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

В настоящее время существует множество узлов трения, в которых применяются антифрикционные материалы. Методы порошковой металлургии позволяют получить композиционные материалы трения с практически неограниченными вариациями состава и пористости и, следовательно, различных эксплуатационных свойств. В ГГТУ имени П. О. Сухого на кафедре «Обработка материалов давлением» разработана технология производства антифрикционного биметаллического материала металлофторопластового композиционного материала [1]. Материал представляет собой стальную полосу с напеченными на нее сферическими частицами бронзы. Поры бронзового слоя заполнены фторопластом с присадками, который играет роль смазывающего наполнителя.

Часто к материалу предъявляются требования по точным значениям толщин слоев. Но при калибровке металлофторопластовой полосы прокаткой толщины слоев изменяются непропорционально вследствие разности в механических свойствах слоев. Поэтому возникает необходимость прогнозирования значений толщин слоев металлофторопластового материала на стадии калибровки полосы. Для этого предлагается аналитическая зависимость, связывающая между собой основные параметры послойной деформации, свойства деформируемого материала, а также технологические параметры процесса деформирования, представляющая собой систему уравнений:

$$\frac{H_{\text{пак}} - \Delta + H_{\text{ст}}}{H_{\text{пак}}} = 1 - \frac{h_{\text{ф}} + h_{\text{бр}}}{H_{\text{ф}} + H_{\text{бр}}}; \quad (1)$$

$$\frac{\varepsilon_{\text{ф}}}{\varepsilon_{\text{бр}}} = \frac{\sigma_{S_{\text{бр}}}(\varepsilon)}{\sigma_{S_{\text{ф}}}(\varepsilon)}, \quad (2)$$

где $H_{\text{пак}}$, $H_{\text{ст}}$, $H_{\text{ф}}$, $H_{\text{бр}}$ – толщина пакета, стальной подложки, фторопластового и бронзового слоя, соответственно, до прокатки, мм; $h_{\text{ф}}$, $h_{\text{бр}}$ – толщина фторопластового и бронзового слоя, соответственно, после прокатки, мм; Δ – величина межвалкового зазора при прокатке, мм; $\sigma_{S_{\text{бр}}}$ – сопротивление деформации бронзового слоя, МПа;

$\sigma_{S_{\phi}}$ – сопротивление деформации фторопластового слоя, МПа; ε – относительная деформация, %.

Для определения степени достоверности полученной аналитической зависимости был проведен ряд практических экспериментов по прокатке металлофторопластовой полосы с различными степенями обжата. Результаты опытов показали, что предлагаемая зависимость позволяет устанавливать такие параметры процесса калибровки прокаткой металлофторопластовой полосы, которые будут обеспечивать требуемые значения толщины слоев материала, и может применяться в инженерных расчетах значений толщин слоев при производстве слоистых композитов, содержащих исследованные материалы.

Литература

1. Бобарикин, Ю. Л. Способ изготовления полосового антифрикционного металлофторопластового материала / Ю. Л. Бобарикин, С. В. Шишков // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 3. – С. 3–9.

УДК 539.3:539.4.

КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ОКСИДА ЦИНКА, ЛЕГИРОВАННОГО АЛЮМИНИЕМ, ФОРМИРУЕМЫЕ МЕТОДОМ ГОРЕНИЯ

А. В. Павленок, Н. Е. Дробышевская, Е. Н. Подденежный, Ю. А. Алексеенко

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

Разработан метод управляемого синтеза наноструктурированных порошков оксида цинка, легированного алюминием, с использованием термохимической реакции горения.

Отличительной особенностью метода является то, что в качестве восстановителя используется смесь карбамида и гексаметилентетрамина (ГМТА), а в качестве окислителя – азотнокислые соли цинка и алюминия. Эти ингредиенты растворяются в дистиллированной воде, тщательно перемешиваются и нагреваются в термостойком сосуде (фарфоровой выпарительной чашке или керамическом тигле). Сосуд помещается в термошкаф, где смесь упаривается до состояния геля при температуре 130 °С в течение 45 мин. Затем чашка покрывается алюминиевой фольгой, в ней делаются отверстия с площадью 1–5 % от общей площади, и ставится в муфельную печь, нагретую до 350 °С. Под воздействием тепловой энергии испаряется вода, влажный гель превращается в ксерогель и между компонентами смеси происходит бурная химическая реакция, в результате которой формируется объемный рыхлый порошок прекурсора, который затем подвергается термообработке при температуре 650 °С в течение 1 ч. Керамический тигель может также помещаться в СВЧ-печь, где под воздействием микроволновой энергии происходит нагрев смеси и инициирование реакции горения [1], [2].

Определены удельная поверхность и условный диаметр частиц ZnO и Al₂O₃, полученных методом горения, который находится в пределах от 0,49 до 1,35 мкм.

Дифрактограмма (ДРОН–7) образца порошка ZnO, получаемого при термической обработке в муфельной печи при температуре 650 °С, продемонстрировала наличие хорошо сформированной кристаллической фазы ZnO, соответствующей

структуре коммерческого ZnO (ХЧ). ИК-спектры порошка ZnO, полученного горением в карбамиде и ГМТА при 650 °С и прокаленного при 1100 °С, содержат полосы поглощения, соответствующие гидроксидным группам (широкая полоса от 3000 до 3500 см⁻¹ и пики на 1600 см⁻¹) и нитрогруппам N-O (1400 – 1370 см⁻¹). Расчет суммарной концентрации НОН и ОН⁻ дает значения концентраций для температур прокаливания от 700 до 1100 °С в диапазоне от 0,04 до 0,01 мас. %.

С использованием полученных порошков изготовлены экспериментальные образцы керамики в форме дисков и определены их физико-химические и структурные характеристики.

Л и т е р а т у р а

1. Павленок, А. В. Микроволновая интенсификация процесса получения пеностекла / А. В. Павленок, Е. Н. Подденежный, А. А. Бойко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 3. – С. 54–60.
2. Давыдова, О. В. Особенности синтеза ультрадисперсных порошков иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами церия с использованием метода горения / О. В. Давыдова [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2016. – № 2. – С. 45–52.

УДК 548.24

МЕТОД РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СИСТЕМЕ «МЕХАНИЧЕСКИЙ КЛИНОВИДНЫЙ ДВОЙНИК – ТРЕЩИНА» В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ СМЕЩЕНИИ

В. В. Влашевич, О. М. Остриков

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

Особенности развития трещин в металлических кристаллах являются важной проблемой на протяжении последних десятилетий. И известные методы механики разрушения находят применение при решении разнообразных задач по прочности тел с трещинами [1]. Таким образом, актуальным решением будет создание метода анализа антиплоских состояний в сложных системах взаимодействия двойника и трещины.

Целью работы является разработка метода расчета полей напряжений системы «механический клиновидный двойник – трещина», рассматриваемой в твердом теле при наложении нагрузки в виде антиплоского сдвига.

Для создания данной модели расчетного анализа, изображенной на рис. 1, руководствуясь [2], [3], на основании принципа суперпозиции выведены расчетные математические соотношения, описывающие напряженно-деформированное состояние в твердом теле, при приложении сил антиплоского нагружения. Система моделируется линейным распределением винтовых дислокаций, где векторы Бюргерса двойника и трещины параллельны оси *OZ*.

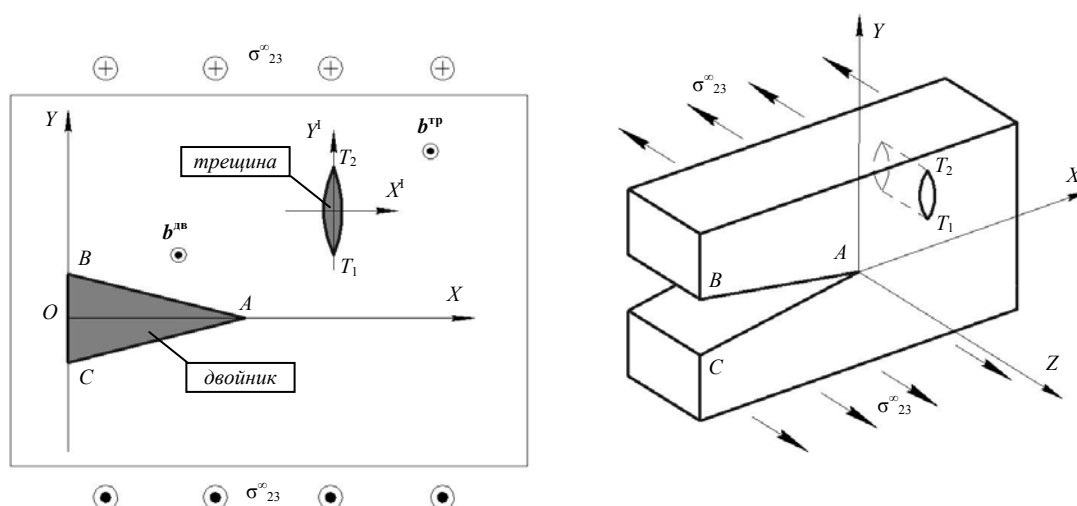


Рис. 1. Схематическое изображение системы «механический клиновидный двойник – трещина» в твердом теле при антиплоском нагружении

Таким образом, в результате проделанной работы разработан метод математического анализа на разрушаемость и долговечность твердого тела путем расчета напряженности системы, подверженной антиплоскому состоянию.

Литература

1. Астафьев, В. И. Нелинейная механика разрушения / В. И. Астафьев, Ю. Н. Радаев, Л. В. Степанова. – Самара : Изд-во «Самар. ун-т», 2004. – 562 с.
2. Остриков, О. М. Механика двойникования твердых тел : монография / О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 301 с.

УДК 548.24

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКОЙ В СЛУЧАЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОСЫ СДВИГА У ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА

А. А. Рюмцев, О. М. Остриков

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

Теория негомогенной пластической деформации металлических стекол в настоящее время развита недостаточно, чтобы говорить о выработке общих методик численно-аналитических расчетов напряженно-деформированного состояния металлических стекол в условиях контактного механического нагружения, что, в свою очередь, не дает возможности с уверенностью определять наиболее опасные для разрушения участки деталей под нагрузкой и условия их эксплуатации.

Целью работы явилось формирование методики определения и расчета напряжений в металлическом стекле при деформировании его поверхности сосредоточенной нагрузкой в случае формирования полосы сдвига у поверхности материала.

Основываясь на предложенной в [1], [2] модели описания деформаций и распределения напряжений в упругом полупространстве, возникающих при их контактном взаимодействии, соответствующем исследуемому случаю, представленному на

рис. 1, была выведена математическая модель для описания напряженно-деформированного состояния при приложении сосредоточенной нагрузки к поверхности материала в случае формирования полосы сдвига у поверхности материала.

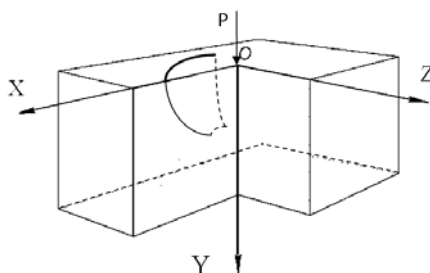


Рис. 1. Схематическое изображение полосы сдвига в виде чешуйчатых навалов у поверхности аморфного материала в разрезе

Ввиду того, что у криволинейной полосы сдвига, находящейся у поверхности аморфного материала, возникают напряжения и при отсутствии внешнего воздействия, в приближении теории упругости общая картина распределения полей напряжений в материале будет представлять собой сумму напряжений, вызванных отдельно приложением сосредоточенной силы, а также напряжений, возникающих от самой полосы сдвига. Методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига, находящейся у поверхности аморфного материала, описана в [3].

В результате выполнения работы поставленная задача была решена в полном объеме.

Л и т е р а т у р а

1. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.
2. Остриков, О. М. Механика двойникования твердых тел : монография / О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 301 с.
3. Рюмцев, А. А. Поля напряжения в металлическом стекле у полос сдвига типа волнистых лучей / А. А. Рюмцев, О. М. Остриков // Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 11, № 6. – С. 24–27.

УДК 666.762.11

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ ЭЛЕКТРОКОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ В СРЕДЕ ВОДОРОДА

**А. А. Алексеенко, Ю. А. Алексеенко, Г. В. Петришин, Е. В. Соколов,
Н. Е. Дробышевская, А. В. Попель**

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

В результате проведенных исследований была разработана технологическая схема формирования электрокорундовой керамики: начиная от получения керамической связки, введения ее в состав шихты, прессования получившейся массы, сушки сформированных заготовок и в итоге – их спекания по установленному температурному режиму до состояния готовых изделий. С целью улучшения физико-химических свойств керамики разработанного состава были проведены исследова-

ния в области стабилизации ее структуры и свойств в зависимости от вида наполнителя (смеси электрокорунда и керамической связки). С применением метода рентгенофазового анализа (РФА) было проведено изучение процессов фазообразования в конечном изделии под действием термообработки на воздухе или в среде водорода. Предложено, что основным механизмом воздействия на рабочие характеристики получаемых материалов является процесс образования жидкой фазы из связки, ее контакт с поверхностью зерен из электрокорунда с последующей кристаллизацией при инерционном остывании, что определяет микротвердость и общий рабочий ресурс получаемых материалов. Изучение микротвердости электрокорундовой керамики показало, что обработка в водороде вызывает уменьшение ее микротвердости в ~ 2,8 раза (до обработки в водороде при $T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\langle \text{HV} \rangle = 5150$, после обработки – $\langle \text{HV} \rangle = 1850$). Измерения проводились согласно ГОСТ 19202–80 «Инструмент абразивный. Измерение твердости методом вдавливания шарика» и ГОСТ Р 52587–2006 «Инструмент абразивный. Обозначение и методы измерения твердости». Измерение микротвердости исходной расплавленной керамической связки после обработки в водороде при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1 ч) показало уменьшение ее микротвердости с 235 HV до 195 HV (на 17 %). Сделанные измерения микротвердости позволяют предположить, что, варьируя температуру и время обработки в контролируемой газовой среде (водород) на связке одного типа, становится возможным менять твердость получаемых на основе электрокорунда керамических изделий по всей их глубине. В связи с вышеизложенным предполагается незначительное снижение прочностных, но не огнеупорных параметров получаемых материалов. Особенностью применения структурирующей обработки в водороде, проводимой по методике, описываемой в работе [1], является сложный характер его взаимодействия как со связкой, так и материалом шихты в целом. Для всех образцов электрокорундовой керамики наблюдалось изменение их внешнего вида – все образцы приобретали темный цвет, что, вероятно, было связано с частичным восстановлением элементов, составляющих основу изделия из состояния высшей валентности до низшей, а также возможным образованием восстановленной фазы элементарного Si и Al.

Литература

1. ГОСТ 18897–98 (ИСО 4491-2–97). Межгосударственный стандарт. Порошки металлические. Определение содержания кислорода методами восстановления. Потери массы при восстановлении водородом (водородные потери) // Изд. офиц. Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 2011.

УДК 667.64

ОКРАСКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОЛИУРЕТАНОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Е. Н. Марачук, А. С. Наумович

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

Для окраски подвижного состава применяют в основном органоразбавляемые алкидные лакокрасочные материалы (эмаль ПФ-115, ПФ-1246). Однако для многих таких покрытий уже в первый год эксплуатации наблюдается существенная потеря декоративных свойств и их быстрое разрушение [1], [2]. Практика показывает перспективность использования полиуретановых материалов в качестве покрытий с технологической и экономической позиции.

Целью данной работы являлась оценка физико-механических, триботехнических и защитно-декоративных свойств полиуретановых покрытий в сравнении с традиционными алкидными покрытиями.

В качестве объектов исследования были использованы:

- пентафталевая эмаль ПФ-115;
- полиуретановая эмаль УР-140.

Физико-механические свойства оценивались по твердости и адгезионной прочности покрытий. Для измерения твердости покрытий использовался твердомер для эластичных материалов. Адгезионную прочность покрытий определяли методом решетчатых надрезов.

Триботехнические испытания заключались в определении потери толщины лакокрасочного покрытия в результате истирания поверхности его вращающейся наждачной бумаги. Для определения стойкости покрытия к истиранию использовалась специально разработанная торцевая машина трения.

Защитные свойства покрытий определяли качественно по стойкости покрытия к статическому воздействию жидкости согласно ГОСТ 9.403–80 и количественно – по изменению прозрачности соляного раствора, воздействующего на образцы, с помощью специально разработанного устройства.

Результаты испытаний показали, что полиуретановые покрытия обладают высокими физико-механическими, триботехническими и защитно-декоративными свойствами. Хотя твердость покрытия из УР-140 несколько ниже, чем у ПФ-115, адгезионная прочность у полиуретанового покрытия выше, стойкость к истиранию в 2 раза выше, а защитно-декоративные свойства выше в 3–5 раз. Это говорит о том, что долговечность полиуретановых покрытий по защитным и декоративным свойствам может достигать 10 лет.

Стоимость полиуретановых эмалей выше, чем у пентафталевых, но из-за повышенной долговечности расходы на восстановление покрытий будут значительно ниже. Таким образом, полиуретановые покрытия рекомендуются для окраски подвижного состава и другой техники.

Л и т е р а т у р а

1. Цырлин, М. И. Окраска транспортных средств жидкими лакокрасочными материалами с повышенным ресурсом покрытий / М. И. Цырлин, Д. Н. Гавриленко, В. Л. Воронина // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2004. – С. 320–323.
2. Цырлин, М. И. Водно-дисперсионные материалы в технологии окраски подвижного состава / М. И. Цырлин, А. С. Селило, А. А. Есипович // Транспорт – 2013 : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону / Ростов. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2013. – С. 116–117.

УДК 678.073.661.481

ПОЛИМЕРНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ**О. В. Давыдова¹, Н. Е. Дробышевская¹, Е. Н. Подденежный¹, Т. Н. Савкова¹,
В. М. Шаповалов²**¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь²ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель

Оптические композиты, наполненные порошком желтого люминофора – иттрий-алюминиевого граната, легированного ионами церия (YAG:Ce) получали по двум вариантам – в виде дисков и в форме ленты. Агломерированный порошок люминофора, синтезированный методом горения, перетирается в ступке, нагретой до 180 °С вместе с алюминатным совмещающим агентом в массовом соотношении, равном 100 : 5 до состояния гелеобразной массы, затем к смеси добавляется порошок прозрачного полимера (полиэтилена, полипропилена или их смеси) и тщательно перемешивается. Порошок люминофора в композите составляет 10, 20, 30 % от общей массы. В приспособлении для горячего формования при температуре 140–145 °С получали дисковые образцы толщиной 0,5–1,0 мм. Пленочные образцы полимерно-кристаллических композитов в виде ленты формовали из смеси полимеров и люминесцентного порошка (20 % от общей массы) на экструдере с щелевой головкой. В качестве светорассеивающего наполнителя в некоторых случаях применяли волластонит игольчатый «МИВОЛЛ» (Россия).

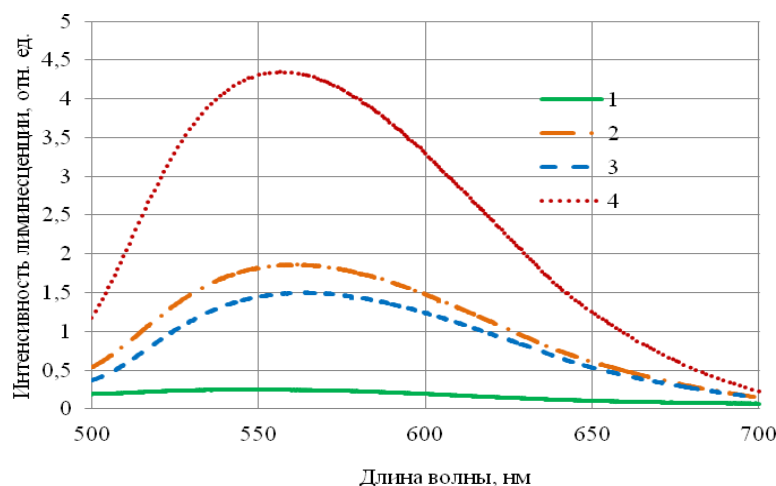


Рис. 1. Спектры люминесценции ленточных композитов:
1 – YAG:Ce – горение в сахарозе; 2 – YAG:Ce – горение в карбамиде;
3 – с добавкой волластонита; 4 – эталон

Оптические полимерно-кристаллические композиционные материалы, наполненные порошком иттрий-алюминиевого граната, легированного ионами церия, люминесцируют с максимумом на длине волны 560 нм (желто-зеленое излучение) (рис. 1) при возбуждении на длине волны $\lambda = 460\text{--}470$ нм и могут быть использованы для создания светопреобразователей плоских источников белого света большой площади, возбуждаемых матрицами светодиодов синего цвета излучения.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ
ПРИ ДИСПЕРГИРОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ**

И. И. Злотников, П. А. Хило

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

Высокодисперсные минеральные порошки широко применяются в качестве наполнителей полимеров, компонентов керамики, пигментов и др. Традиционным способом их получения является механическое измельчение исходного сырья, в частности, с использованием технологических жидкостей. Жидкость, проникая в микротрещины, возникающие в твердом теле при воздействии рабочего инструмента, создает в них расклинивающее давление, способствуя снижению усилия разрушения. Поэтому она должна уменьшать силу молекулярного взаимодействия между поверхностями образующихся микротрещин. Наиболее общим способом расчета силы взаимодействия твердых поверхностей является электромагнитная теория [1]. Если зазор l между поверхностями мал по сравнению с длинами волн, характерными для спектров поглощения тел, формула для силы взаимодействия имеет вид (индексы 1 и 2 относятся к телам, 3 – к прослойке между ними):

$$F(l) = \frac{\hbar}{8\pi^2 l^3} \int_0^\infty \frac{[\varepsilon_1(i\xi) - \varepsilon_3(i\xi)][\varepsilon_2(i\xi) - \varepsilon_3(i\xi)]}{[\varepsilon_1(i\xi) + \varepsilon_3(i\xi)][\varepsilon_2(i\xi) + \varepsilon_3(i\xi)]} d\xi. \quad (1)$$

Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon(i\xi)$ связана с мнимой частью комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon''(\omega)$ соотношением Крамеса–Кронига:

$$\varepsilon(i\xi) = 1 + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\varepsilon''(\omega)\omega}{\omega^2 + \xi^2} d\omega. \quad (2)$$

Однако экспериментальное определение $\varepsilon''_{1,2,3}(\omega)$ и вычисление силы по формуле (1) является трудоемким процессом. Спектры поглощения диэлектриков имеют вид полос, где наряду с областями прозрачности существуют зоны поглощения. Если пренебречь малым поглощением на участках прозрачности, а в полосе поглощения функцию $\varepsilon''(\omega)$ аппроксимировать простой, но близкой к реальной зависимостью, то по формуле (2) можно вычислить $\varepsilon_{1,2,3}(i\xi)$, по которым найти силу взаимодействия поверхностей. В данном исследовании предлагается представить зависимость $\varepsilon''(\omega)$ в полосе поглощения в виде формулы Дебая:

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2 \tau^2} \omega \tau, \quad (3)$$

где ε_0 – статическая диэлектрическая проницаемость, ε_∞ – высокочастотный предел диэлектрической проницаемости; τ – время релаксации, связанное с резонансной частотой ω_0 формулой $\tau = 1/\omega_0$. Учитывая, что в случае разрушения твердого тела $\varepsilon''_1(\omega) = \varepsilon''_2(\omega)$, а вместо ε_∞ удобнее использовать квадрат оптического показателя преломления $\varepsilon_\infty = n^2$, была получена формула (индекс l относится к твердым поверхностям, 3 – к жидкости):

$$F(l) = \frac{\hbar\omega_0}{16\pi^2 l^3} \frac{(\varepsilon_{10} - \varepsilon_{30} + n_3^2 - n_1^2)^2}{(\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30} - n_1^2 - n_3^2 + 2)}. \quad (4)$$

Если поглощение происходит не на одной общей частоте ω_0 , а на нескольких, то их вклад в силу взаимодействия суммируется. Авторами на примере некоторых жидкостей (вода, ацетон, жидкий парафин) экспериментально подтверждены выводы, следующие из формулы (4), а также показано, что для тонкого измельчения кварца наиболее перспективны предельные углеводороды фракции C₁₀–C₁₅.

Литература

1. Дзялошинский, И. Е. Общая теория ван-дер-ваальсовых сил / И. Е. Дзялошинский, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский // УФН. – 1961. – Т. 73, вып. 3. – С. 381–422.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ НА КАЧЕСТВО СЦЕПЛЕНИЯ ПОРОШКОВОГО ПОКРЫТИЯ И ОСНОВЫ

А. М. Урбанович, Ю. Л. Бобарикин

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

Процесс плакирования порошковыми покрытиями металлической основы заключается в совместной пластической деформации основы и металлического порошка деформирующим инструментом. Совместная пластическая деформация позволяет сформировать порошковое покрытие и закрепить его на металлической основе. Покрытия могут иметь различные функциональные назначения, определяемые свойствами порошка. Наличие металлической основы способствует повышению конструкционной прочности получаемого слоистого материала и экономии дорогостоящих материалов.

При проведении опытов было установлено, что с течением времени, прошедшего после плакирования, прочность соединения понижается, а в ряде случаев соединение разрушается. Постепенное понижение прочности соединения связано с нарушением геометрической формы поверхностей излома, затрудняющим сближение до физического контакта. С точки зрения физических основ холодной сварки, наиболее существенным является экспериментальное подтверждение возможности схватывания в холодную практически всех металлов. Однако их свариваемость, оцениваемая способностью к образованию прочного соединения, весьма различна. Это можно объяснить тем, что для некоторых металлов и сплавов узлы схватывания, образовавшиеся при совместной деформации, после снятия нагрузки, вызывающей эту деформацию, разрушаются.

Склонность к хрупкому разрушению можно характеризовать температурой хладнохрупкости: чем она выше, тем вероятнее хрупкое разрушение материала, и как следствие, тем труднее должна быть его холодная сварка.

Таким образом, свариваемость можно связать с пластичностью материала, однако не с его технологической пластичностью, оцениваемой удлинением при комнатной температуре, а со склонностью к хрупкому разрушению в неблагоприятных условиях.

Из представлений о влиянии остаточных напряжений на качество соединения металлов пластической деформацией связь условий холодной сварки с хладнохрупкостью материала носит феноменологический характер, и ее следует рассматривать лишь как рабочую гипотезу.

Учитывая вышеизложенное, металл покрытия и основы в узлах схватывания могут растянуться без разрушения на определенную критическую величину.

На эту критическую величину будут влиять такие факторы, как химическая совместимость соединяемых металлов, подготовка металлической основы перед плакированием, технология нанесения и пр.

В этой связи представляется актуальным изучение релаксационных процессов в зоне образования соединения между плакирующим слоем и основой. Определение закономерностей их протекания будет способствовать рациональному планированию режимов обработки, обеспечивающих качественное соединение и, как следствие, будет обеспечивать достаточные эксплуатационные свойства получаемых слоистых материалов.

СЕКЦИЯ III. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПИТАНИИ ОТ СИНУСОИДАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ

А. С. Третьяков, О. А. Капитонов

*ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев,
Республика Беларусь*

Математическая модель, описывающая тепловентиляционные и энергетические режимы работы асинхронного электродвигателя, состоит из следующих уровней: электромагнитная, энергетическая, тепловая и вентиляционная модели.

Электромагнитная модель представляет собой систему дифференциальных уравнений на основе теории обобщенной электрической машины, описывающих электромагнитные процессы, протекающие в электродвигателе [1], [2]. Данная модель позволяет получить графики скорости, момента и токов.

Энергетическая модель определяет переменные потери за цикл работы электродвигателя, а также коэффициент полезного действия и коэффициент мощности. Постоянные потери программируются как константы. Полученные параметры потерь являются исходными данными для расчета тепловых режимов.

Тепловая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих тепловые режимы работы моделируемого асинхронного электродвигателя [3]. В основе данной модели лежит метод тепловых эквивалентных схем замещения. Исходными данными для расчета тепловых режимов являются геометрические размеры двигателя для расчета тепловых проводимостей и теплоемкостей узлов эквивалентной схемы замещения, а также результат работы энергетической модели (потери в отдельных узлах электродвигателя). Итогом работы данной модели является вектор температур отдельных узлов моделируемого асинхронного электродвигателя.

Вентиляционная модель представляет собой систему уравнений, описывающих вентиляционную сеть моделируемого асинхронного электродвигателя (включая параметры вентилятора), и процесс отвода тепловых потерь со станины электродвигателя [4]. Далее полученные данные поступают в тепловую модель с последующей коррекцией температур отдельных узлов асинхронного электродвигателя.

Для расчета переходных процессов за период времени использовался математический пакет Matlab. В качестве моделируемого использовался электродвигатель АИР100S4. Верификация экспериментальных осциллограмм и графиков, полученных в результате моделирования, показала высокую точность.

Описанная выше модель позволяет показать взаимосвязь между отводом тепловых потерь, работой вентиляционной сети и энергетикой асинхронного электродвигателя.

Литература

1. Ключев, В. И. Теория электропривода : учеб. для вузов / В. И. Ключев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с. : ил.
2. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.
3. Асинхронные двигатели общего назначения / Е. П. Бойко [и др.] ; под ред. В. М. Петрова и А. Э. Кравчика. – М. : Энергия, 1980. – 254 с.
4. Виноградов, В. И. Вентиляторы электрических машин / В. И. Виноградов. – Л. : Энергоиздат, 1980. – 200 с. : ил.

УДК 629.4.015

**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПРОЧНОСТИ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ С УЧЕТОМ СИЛОВОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПЕРЕВОЗИМЫМ ЖИДКИМ ГРУЗОМ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS WORKBENCH**

И. И. Архутик, А. В. Пуцято

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

Целью работы является разработка компьютерной модели несущей конструкции железнодорожного вагона-цистерны для перевозки нефтепродуктов, позволяющей определять ее напряженно-деформированное состояние с учетом силового взаимодействия упругих стенок котла вагона с относительно подвижным жидким грузом. В качестве объекта исследования выбрана модель вагона-цистерны 15-1443, конструкция котла и рамы которой усилена в соответствии с рекомендациями, предусмотренными при выполнении капитально-восстановительного ремонта.

Создание модели выполнялось в программном комплексе конечно-элементного анализа *ANSYS Workbench* с использованием *FSI (fluid-structure interaction)* анализа, основанного на одновременном использовании двух модулей программы: *Transient Structural (ANSYS)*, обеспечивающий решение задачи прочности; *Fluid Flow (CFX)*, обеспечивающий решение задачи гидродинамики. Таким образом, учет силового взаимодействия упругих стенок котла вагона и перевозимого жидкого груза достигается путем решения связанных дифференциальных уравнений: механики деформируемого твердого тела и гидродинамики жидкого груза (используются уравнения Навье–Стокса и неразрывности). Разработка геометрических моделей металлоконструкций котла и рамы, а также объема жидкости в котле выполнена средствами графического построения программы *ANSYS* с использованием комплекта чертежей вагона. Кинематические и силовые граничные условия внешних связей приняты в соответствии с особенностями конструктивного исполнения вагона. Установлено ограничение продольного перемещения в упорах автосцепного устройства, поперечного перемещения в области пятника, а также вертикального перемещения в области пятника и опор на скользуны тележки.

Важным шагом при создании расчетных моделей для взаимосвязанного междисциплинарного анализа является задание поверхности сопряжения (взаимодействия) жидкости и конструкции. В рамках этого подхода весь процесс расчета разбивается на интервалы, число которых зависит от принятого шага по времени, принимаемого исходя из размеров конечных элементов и средней скорости движения жидкости при переходном режиме. Учитывая разработанные конечноэлементные модели и опыт расчета гидродинамики жидкости в котле цистерны, в нашем

случае для обоих решателей шаг по времени Δt принят равным 0,01 с. В то же время несмотря на то, что общая расчетная схема носит нестационарный характер, временные шаги могут быть различными.

Используемый алгоритм решения связанной задачи следующий. На первом шаге выполняется расчет прочности котла при гидростатическом давлении на внутренней поверхности. Затем полученные на этом шаге перемещения передаются в модуль *CFX*, где решается задача гидродинамики с учетом перемещений соответствующих узлов поверхности взаимодействия. Найденные узловые силы (давления жидкости) на поверхности взаимодействия передаются в прочностной модуль, и выполняется расчет с системой сил, соответствующей новому положению жидкого груза. Далее информация о деформации конструкции передается в модуль для расчета гидродинамики и цикл расчетов и обмена информацией повторяется до заданного конечного времени.

Разработанную модель планируется использовать для оценки прочностных характеристик котла и рамы с целью определения степени влияния подвижности жидкого груза на долговечность несущей конструкции вагона.

УДК 629.463.2

НАГРУЖЕННОСТЬ ТОРЦЕВЫХ СТЕН КУЗОВОВ ВАГОНОВ-ХОППЕРОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В. И. Сенько, А. В. Пигунов, П. М. Афанаськов

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

В настоящее время на территории стран СНГ расчет новых конструкций вагонов и оценку остаточного ресурса вагонов, находящихся в эксплуатации, регламентируют Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) 1996 г. и ГОСТ 33211–2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам». При определении давления, действующего на торцевые стенки кузова хоппера для перевозки минеральных удобрений модели 11-740, получены следующие значения:

– для сульфата аммония – 12860 и 15550 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 0,9 т/м³, угол естественного откоса – 0,87 рад, угол трения – 0,5 рад);

– для суперфосфата двойного – 16970 и 20520 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 1,1 т/м³, угол естественного откоса – 0,78 рад, угол трения – 0,5 рад);

– для фосфористой муки – 20060 и 24250 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 1,3 т/м³, угол естественного откоса – 0,78 рад, угол трения – 0,5 рад);

– для минеральных удобрений комбинированных (нитрофоска) – 15990 Па и 19340 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 1,0 т/м³, угол естественного откоса – 0,74 рад, угол трения – 0,5 рад).

Анализируя расчетные значения давления, действующего на торцевые стенки кузова, по Нормам получается, что на наклонную часть торцевой стены по результатам расчета приходится нагрузка равная: для сульфата аммония – 4,31 и 5,21 т, для I и III режимов; для суперфосфата двойного – 5,68 и 6,87 т; для фосфористой муки – 6,72 и 8,12 т; для минеральных удобрений комбинированных (нитрофоска) – 5,36 и 6,48 т. Если определить количество груза, которое помещается в выделенном

объеме над наклонной частью торцевой стены, ограниченном с одной стороны самой торцевой стеной, а с другой стороны – условной вертикальной плоскостью, то мы получаем значения, равные: для сульфата аммония – 2,61 т; для суперфосфата двойного – 3,19 т; для фосфористой муки – 3,77 т; для минеральных удобрений комбинированных (нитрофоска) – 2,90 т.

Для оценки прочности была разработана конечно-элементная модель кузова вагона-хоппера для перевозки минеральных удобрений модели 11-740, в программном пакете DSMFem, с применением двух типов конечных элементов: пластинчатые 3- и 4-угольные. Проведенные расчеты показали, что при всех сочетаниях нагрузок как при I расчетном режиме, так и при III расчетные величины напряжений превышают допускаемые.

Конструкция вагона-хоппера модели 11-740 принята к серийному производству в 1977 г. Исходя из приведенных результатов расчетов в эксплуатации должны наблюдаться повреждения в виде деформации обшивки и подкрепляющих элементов торцевой стены, трещины сварных швов и т. д. Однако техническое обследование вагонов-хопперов, выработавших нормативный срок службы, проведенное сотрудниками ОНИЛ «ТТОРЕПС» БелГУТа, данных повреждений не выявило, за исключением коррозионного износа.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что формула, по которой определяется давление, действующее на наклонные торцевые стенки кузовов вагонов, не отображает реальной картины нагружения и нуждается в уточнении.

Литература

1. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам : ГОСТ 33211–2014.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

УДК 658.26

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Н. М. Кидун

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

Виртуальные лаборатории находят применение во многих сферах деятельности: в образовательном процессе, в промышленности. Создание виртуальных лабораторий является одним из путей при решении проблемы организации учебных лабораторий по изучению сложной техники и оборудования. Эта проблема особенно актуальна при изучении промышленной теплоэнергетической техники из-за высокой стоимости оборудования и необходимости больших площадей для ее размещения.

Данная работа проводилась с целью разработки программного обеспечения для возможности создания и необходимости внедрения новых методов и средств в учебный процесс, для повышения качества подготовки студентов дневной и заочной форм обучения.

В качестве технологической основы реализации виртуальных лабораторных работ была выбрана система Joomla, языки PHP, Python, Javascript.

Для обработки графики редактор изображений GIMP, Inkscape, анимация с помощью программы Synfig Studio. Основными причинами такого выбора являются универсальность и совместимость языка с другими приложениями.

Для создания веб-сайта была использована система Joomla. Созданный сайт является научно-познавательным и рассчитан на аудиторию студентов дневной и заочной форм обучения. Содержит три виртуальные лабораторные работы по дисциплине «Системы производства и распределение теплоносителей промышленных предприятий»: параметры настройки оборудования газораспределительного пункта, исследование работы системы оборотного водоснабжения, изучение режимов работы кислородной станции.

Работа студентов происходит в том же порядке, что и при выполнении работ в учебной лаборатории кафедры на физических моделях:

1. Изучение методических указаний к проведению лабораторных работ.
2. Аудиторное закрепление теоретических аспектов, основных положений и последовательности проведения лабораторных работ.
3. Изучение и закрепление принципов техники безопасности работы с промышленными установками.
4. Получение индивидуального задания и работа с виртуальным лабораторным комплексом.
5. Анализ результатов экспериментальных данных.
6. Составление отчета по лабораторным работам.

Анализ работы показал, что разработанный электронно-образовательный ресурс на базе имитационного моделирования комплекса лабораторных работ, в отличие от реальных физических установок, позволяет планировать и выполнять работу в индивидуальном темпе в соответствии с индивидуальными возможностями студента, степенью его подготовленности, достигая необходимого результата.

Практическое применение полученных результатов – создание базового инструментария для дневного, заочного и дистанционного инженерного образования.

УДК 621.778

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РОЛИКА НА МАКРОПЕРЕМЕЩЕНИЯ В МЕТАЛЛОКОРДЕ

Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов

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

Деформирующий ролик используется в узлах намотки свитого металлокорда на приемную катушку для увеличения прямолинейности металлокорда. Деформирующий ролик оказывает воздействие на макроперемещения в конструкции металлокорда, а также создает изгибающие напряжения в металлокорде. Необходимо определить оптимальный диаметр деформирующего ролика с максимальными макроперемещениями проволок в конструкции металлокорда для наилучших показателей прямолинейности металлокорда.

Цель: определить влияние диаметра деформирующего ролика на макроперемещения в металлокорде, обеспечивающие наилучшую прямолинейность металлокорда.

Поиск оптимального диаметра деформирующего ролика основан на построении и исследовании численных моделей изгиба металлокорда конструкции 2x0.30НТ на ролике. Численная модель строится со следующими входными данными:

1. Свитый металлокорд неподвижно закреплен двумя заделками в верхней и нижней плоскости параллельно глобальной плоскости XOY .

2. На металлокорд дополнительно в направлении Z действует растягивающее усилие 17Н.

3. Деформирующий ролик диаметром $D = 10, 20\text{--}80$ мм движется в поперечном направлении OX в сторону металлокорда на расстояние 1 мм.

По результатам моделирования строится график зависимости осевого смещения от диаметра деформирующего ролика. График представлен на рис. 1.

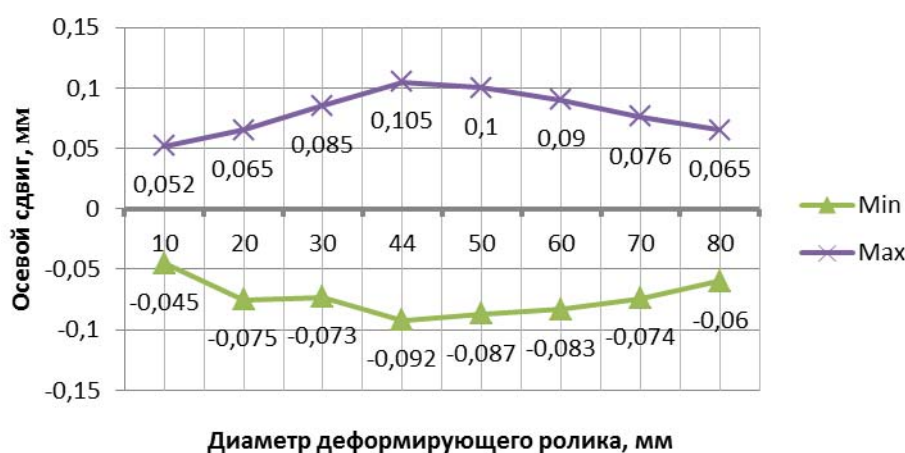


Рис. 1. График зависимости осевого смещения от диаметра деформирующего ролика

Экстремумы графика осевого сдвига соответствуют диаметру деформирующего ролика $D = 44$ мм и свидетельствуют о максимальном макроперемещении проволок в конструкции металлокорда 2x0.30НТ. Полученные данные совпадают с лабораторными исследованиями влияния деформирующего ролика на прямолинейность металлокорда.

Таким образом, деформирующий ролик диаметром $D = 44$ мм является оптимальным для обеспечения наилучшей прямолинейности металлокорда 2x0.30НТ.

УДК 621.323

СИНТЕЗ VHDL КОДА ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТАХ

Д. Е. Храбров, И. А. Мурашко

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

Генератор псевдослучайных тестовых воздействий является одним из наиболее важных элементов встроенного самотестирования (*англ.* Built-in Self-test, BIST) [1]. Существует множество методов генерирования псевдослучайных последовательностей. В этой работе рассматриваются генераторы на клеточных автоматах [2], [3].

Моделирование проводилось в Xilinx ISE 14.2, ПЛИС Xilinx Spartan-3 XC3S200. Кроме того, устройства также были реализованы на отладочной плате Digilent Spartan-3 Board. При моделировании в Xilinx ISE при наличии только одного элемента XOR максимальная частота устройства была 313 МГц. Если же два элемента XOR в генераторе стояли последовательно, то частота падала до 210 МГц.

Рассмотрим реализации на клеточных автоматах и LFSR, имеющие характеристический полином $x^{13}x^{12} \oplus x^{11} \oplus x^9 \oplus x^8 \oplus x^7 \oplus x^6 \oplus x^5 \oplus x^4 \oplus x^3 \oplus x^2 \oplus x \oplus 1$. Реализация на клеточных автоматах имеет вектор правил [5557757757577] и работает на максимальной частоте 313 МГц, так как последовательно расположенных элементов XOR в такой реализации нет. Худшая реализация на LFSR имеет 11 последовательно стоящих XOR и максимальную частоту 60 МГц. Перераспределение элементов XOR так, чтобы максимальное количество последовательно соединенных элементов XOR было меньше 5, поднимает максимальную частоту до 140 МГц. Xilinx ISE имеет в стандартной библиотеке элементы XOR на максимум 9 входов. То есть для реализации представленного генератора нужно минимум два элемента XOR. Это поднимает максимальную частоту до 170 МГц, что медленнее реализации на клеточных автоматах.

При значительном увеличении размерности клеточного автомата максимальная частота уменьшается не настолько значительно. Например, клеточный автомат на правых (90, 240) и размерностью 503 триггера имеет максимальную частоту 220 МГц.

В работе рассмотрена автоматизация синтеза генераторов псевдослучайных последовательностей на клеточных автоматах. Предложена методика получения конфигураций клеточных автоматов по единственному параметру – размерности. Разработанное приложение позволяет генерировать VHDL код, который можно использовать как в проектировании цифровых устройств, включая программируемые логические интегральные схемы и микроконтроллеры, так и в программной реализации.

Литература

1. Agrawal, V. Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits / V. Agrawal, M. Bushnell. – Springer, 2000. – P. 712.
2. Храбров, Д. Е. Применение клеточных автоматов с расширенным набором правил для генерирования псевдослучайных тестовых последовательностей / Д. Е. Храбров, И. А. Мурашко // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – № 1 (18). – С. 98–104.
3. Мурашко, И. А. Применение клеточных автоматов с расширенным набором правил для генерирования псевдослучайных тестовых последовательностей / И. А. Мурашко, Д. Е. Храбров // Вестн. Москов. гос. ун-та приборостроения и информатики. – 2013. – № 47. – С. 78–93.

УДК 658.512.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

В. С. Мурашко, С. В. Рогов

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

Научно-технический прогресс в различных областях техники тесно взаимосвязан с автоматизацией трудоемких расчетов. ЭВМ становится привычным инструментом выполнения различных работ не зависимо от области деятельности и характера расчетов. Введение ЭВМ в любую область человеческой деятельности требует пересмотра многих сложившихся представлений в сторону большей формализации, большей строгости определения понятий, однозначности толкования терминов, четкости классификаций. В этом отношении не может быть исключением и область проектирования технических объектов.

Целью данной работы является автоматизация определения рациональных режимов обработки при плоском шлифовании торцом круга на плоскошлифовальных

станках с круглым столом, при плоском шлифовании торцом круга на вертикальных двухшпиндельных станках с круглым столом, на круглошлифовальных станках, на шлицешлифовальных станках.

В процессе выполнения работы:

– была изучена предметная область: обработка заготовок на шлифовальных станках;

– проведен анализ информационных структур, используемых для определения рациональных режимов обработки на шлифовальных станках;

– проведен алгоритмический анализ задачи (постановка задачи, анализ входных данных, описание выходных данных);

– разработана алгоритмическая модель задачи на основе методики [1].

Разработка алгоритмической модели задачи разбита на четыре этапа.

1. Разработка алгоритма задачи «Определение рациональных режимов обработки при плоском шлифовании торцом круга на плоскошлифовальных станках с круглым столом».

2. Разработка алгоритма задачи «Определение рациональных режимов обработки при плоском шлифовании торцом круга на вертикальных двухшпиндельных станках с круглым столом».

3. Разработка алгоритма задачи «Определение рациональных режимов обработки на круглошлифовальных станках».

4. Разработка алгоритма задачи «Определение рациональных режимов обработки на шлицешлифовальных станках».

Алгоритмическая модель определения рациональных режимов обработки на шлифовальных станках реализована в виде программы «ОРРОнШС» (**О**пределение **Р**ациональных **Р**ежимов **О**бработки на **Ш**лифовальных **С**танках) с дружественным пользовательским интерфейсом. В качестве языка программирования выбрана визуальная объектно-ориентированная система проектирования Delphi 7.0.

Использовать программу «ОРРОнШС» для автоматизации расчета режимов резания при кругло-, плоско-, шлицешлифовании могут студенты в курсовых и дипломных работах, а также пользователи-технологи.

Л и т е р а т у р а

1. Режимы резания металлов : справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 408 с.

УДК 004.891.3

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Н. Н. Масалитина

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

Целью исследования является формализованное описание механизмов, участвующих в поддержании устойчивости к деструктивным воздействиям сложной системы, обладающей иерархической структурой управления (СISУ), т. е. их отдельные элементы обладают свойством подчиненности и их поведение определяется поведением старших элементов.

На основе исследования поведения СИСУ различной природы (производственных, технологических, биомедицинских) под влиянием деструктивных воздействий выявлен ряд схожих закономерностей.

Пусть $q(t)$ – состояние СИСУ такое, что большему значению q соответствует большая устойчивость СИСУ; $I(t)$ – показатели, характеризующие состояние защищаемой подсистемы СИСУ; $u(t)$ – показатели, характеризующие элементы защищающей подсистемы СИСУ, направленные на предупреждение деструктивных изменений; $a(t)$ – показатели, характеризующие элементы защищающей подсистемы СИСУ, направленные на устранение последствий деструктивных изменений; $EN(t)$ – показатели, характеризующие внешнее регулирование СИСУ; $W(t)$ – интенсивность деструктивных воздействий; $z(t)$ – управляющее воздействие; $e(t)$ – эффект от управляющего воздействия; $\Theta, \Omega, \Xi, \Psi$ – функции, определяющие изменение состояния управляемой и управляющей подсистемы СИСУ, а также эффективность управления; t – время; n – количество периодов наблюдения.

Тогда

$$q(t_i) = \Theta(I(t_i), u(t_i), a(t_i), EN(t_i)), \quad i = 1 \dots n; \quad (1)$$

$$I(t_i) = \Omega(I(t_{i-1}), e(t_{i-1}), W(t_{i-1})), \quad i = 2 \dots n; \quad (2)$$

$$u(t_i) = \Psi(u(t_{i-1}), e(t_{i-1}), W(t_{i-1})), \quad i = 2 \dots n; \quad (3)$$

$$a(t_i) = \Psi(a(t_{i-1}), e(t_{i-1}), W(t_{i-1})), \quad i = 2 \dots n; \quad (4)$$

$$e(t_i) = \Xi(z(t_i), q(t_i)), \quad i = 1 \dots n. \quad (5)$$

Учитывая иерархическую структуру СИСУ выражения (2)–(4) примут вид:

$$I(t_i) = \{I_j(t_i)\}, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots r; \quad (6)$$

$$I_j(t_i) = \Omega(I(t_{i-1}), e(t_{i-1}), W(t_{i-1})), \quad i = 2 \dots n, \quad j = 2 \dots r; \quad (7)$$

$$u(t_i) = \{u_j(t_i)\}, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots r; \quad (8)$$

$$u_j(t_i) = \Psi(u(t_{i-1}), e(t_{i-1}), W(t_{i-1})), \quad i = 2 \dots n, \quad j = 2 \dots r; \quad (9)$$

$$a(t_i) = \{a_j(t_i)\}, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots r+1; \quad (10)$$

$$a_j(t_i) = \Psi(a(t_{i-1}), e(t_{i-1}), W(t_{i-1})), \quad i = 2 \dots n, \quad j = 2 \dots r; \quad (11)$$

$$\Phi(t, q(t)) = \int_0^t q(\xi) d\xi. \quad (12)$$

Задача выбора управляющих воздействий, направленных на повышение устойчивости СИСУ к деструктивным воздействиям сводится к нахождению множества $z(t)$ такого, что

$$\forall t : \varphi(t, q(t)) \xrightarrow{z(t)} \max.$$

Представленная математическая модель является основой для разработки инструментов поддержки принятия решений по управлению устойчивостью СИСУ к деструктивным воздействиям.

УДК 621.313.333

**СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ
МЕТОДОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В РАМКАХ
ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»**

Н. А. Самсонов¹, В. С. Захаренко²

¹*ОАО «БМЗ – Управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Республика Беларусь*

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

Внезапный выход из строя высоковольтных асинхронных электродвигателей предприятия может привести к аварии и длительному простоему производства, что, в свою очередь, приведет к прямым финансовым потерям предприятия, которые вызваны нарушением технологического процесса, затратами на восстановление и ремонт электродвигателя. В рамках ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – БМЗ) приведет также к штрафам за нарушение экологического законодательства Республики Беларусь в связи с отсутствием работоспособной системы пылегазоудаления (далее – ПГУ), где эксплуатируется данный тип электродвигателей.

Из вышеизложенного очевидно, что постоянная диагностика электродвигателей является неотъемлемой частью их эксплуатации.

Целью работы является разработка системы непрерывной диагностики состояния высоковольтных асинхронных электродвигателей установки пылегазоудаления на БМЗ, позволяющей на основе прогнозирования развития дефектов повысить эффективность их обслуживания.

Перспективными методами диагностики состояния электродвигателей являются бесконтактные методы в совокупности с математическим моделированием работы двигателя.

Суть метода контроля и анализа параметров электродвигателя в комплексе с математическим моделированием его работы состоит в том, что математическая модель имеет динамический характер, обусловленный постоянным обновлением текущих параметров электродвигателя (активное сопротивление обмотки статора, активное сопротивление ротора, индуктивные сопротивления рассеяния контуров статора и ротора, индуктивное сопротивление ветви намагничивания и т. д.), с целью прогнозирования его последующего состояния (выявления дефектов, влияющих на его ресурс). Иными словами, осуществляется диагностика оборудования по его текущему состоянию для определения предаварийного состояния.

Преимущество данного подхода заключается в том, что ремонт производится только для того оборудования, которому он необходим, оценка состояния производится в процессе эксплуатации, без каких-либо разборок и ревизий, на базе контроля и анализа соответствующих параметров. Затраты на техническое обслуживание электродвигателей снижаются по сравнению с обслуживанием по системе планово-предупредительных ремонтов с остановкой оборудования.

УДК 658.512.011.56

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В. С. Мурашко, А. В. Рыбакова

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

Автоматизация различных областей деятельности производственного предприятия, осуществленная с помощью CAD/CAE/CAPP/CAM систем, а также необходимость организации хранения проектных данных в общей базе привели к поглощению мелких специализированных компаний крупными и созданию ведущими разработчиками САПР единого комплекса программных решений от одного поставщика. Предпочтительным является внедрение интегрированных САПР, автоматизирующих все основные этапы проектирования изделий, так как частичная автоматизация зачастую не дает ожидаемого повышения эффективности функционирования предприятий. Сущность интеграции заключается в способности создавать данные в одном приложении (CAD) и при малых изменениях использовать их в другом приложении (CAE, CAM). Дальнейшее повышение эффективности производства и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции возможно за счет интеграции систем проектирования, управления и документооборота.

Целью работы является разработка методики автоматизации проектирования общих технологических процессов на базе параметрической модели детали типа «Втулка» с использованием интегрированных систем проектирования.

В качестве интегрированных систем для реализации методики автоматизированного проектирования общих технологических процессов на базе параметрической модели были выбраны следующие программные продукты: ТехноКАД и ТехноПро.

Общая методика создания общих технологических процессов состоит из следующих этапов:

1. Создать параметрический чертеж детали «Втулка» с помощью lisp-программы «vtulki» [1].
2. Сохранить параметрический чертеж на диске.
3. Создать связь параметрического чертежа AutoCad и ТехноПро с помощью программы ТехноКАД 5.
4. Разработать общий технологический процесс на каждый тип втулки (четыре технологических процесса).

Итак, при использовании интегрированных систем можно выявить ряд преимуществ:

- повышения эффективности производства;

– повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции;
 – сокращение времени разработки, ошибок и удобство внесения инженерных изменений;
 – многие из современных производственных технологий не могут быть эффективно реализованы без интегрированных САПР-АСТПП (роботы, гибкие производственные системы).

Литература

1. Рыбакова, А. В. Автоматизация формирования конструкторской документации на детали типа «Втулка» в AutoCAD / А. В. Рыбакова // Актуальные вопросы физики и техники : материалы IV Респ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 15 апр. 2015 г. : в трех частях. Часть 3. – С. 135–138.

УДК 004.94:621.564.2

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРИ КИПЕНИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

В. Г. Якимченко, Г. Е. Брикач

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

В различных исследованиях имитация используется при решении широкого спектра задач. Имитационное моделирование (simulation) является одним из мощнейших методов, используемых в разработке технических систем.

В данной работе показано, как можно, используя эмпирические экспериментальные данные при кипении озонобезопасных хладагентов, преобразовать их таким образом, чтобы получить имитационную прогнозную модель с выдачей множества различных сценарных технических решений в виде различных функционалов. В работе также будет показана возможность поиска функционала α следующего вида:

$$\alpha = Ap^n q^m,$$

где A – безразмерный коэффициент; p – давление, атм; q – тепловой поток, кВт/м²; n и m – показатели степени.

При этом требуется найти численные значения A , n и m .

На основании исходных данных в программной оболочке Excel с помощью трендового анализа строились графические зависимости и находились корреляционные уравнения связи между величиной теплового потока q , кВт/м² (X -фактор при q , кВт/м²) и α , кВт/м² · С ($Y1$ -фактор: при $T_s = 13,6$ °С, $P_s = 4$ атм; $Y2$ -фактор при $T_s = 19,5$ °С, $P_s = 5$ атм; $Y3$ -фактор: при $T_s = 26,1$ °С, $P_s = 6,4$ атм; $Y4$ -фактор при $T_s = 30,1$ °С, $P_s = 7,4$ атм) (рис. 1).

Процесс имитационного моделирования завершается достижением точности отклонения модельных от экспериментальных, которая задается исследователем. В результате имитационного моделирования была получена следующая формула функционала:

$$\alpha = 0,98p^{1,71}q^{0,57}.$$

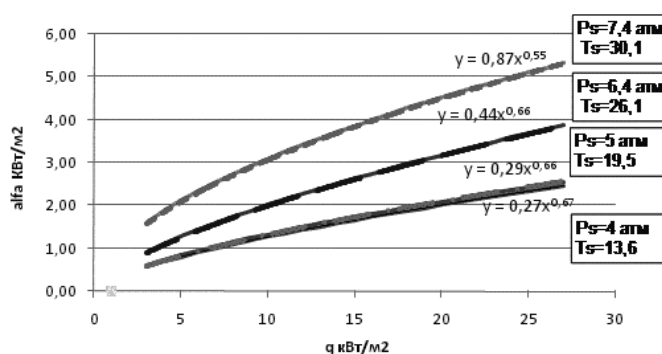


Рис. 1. Графические зависимости, построенные с помощью трендового анализа, q , кВт/м² и α , кВт/м² · С при разных значениях температуры и давления

Полученные результаты показывают, что использование такого подхода позволяют проводить исследования на более качественном уровне в условиях с большей степенью точности при обработке экспериментальных данных.

УДК 004.82

МЕХАНИЗМЫ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА

Ю. С. Кузьменков, И. А. Мурашко

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

Статья посвящена вопросу исследования методов анализа эмоциональной окраски текстов, а также разработке и реализации метода эмоциональной окраски на примере динамических интернет-ресурсов.

В ряде исследований по определению полярности текста высокую эффективность показали методы обучения с учителем. Эти методы использовались как в ранних работах по определению полярности документа, так и в современных работах, где анализируются предложения и короткие текстовые сообщения. Для решения поставленной задачи был выбран данный метод.

Для использования методов обучения с учителем требуется обучающая выборка. Обычно обучающее множество составляется из примеров той области, в которой будет применяться классификатор.

В качестве обучающей и проверочной выборки был составлен корпус, состоящий из 8000 предложений, для которых определена полярность. Часть этих предложений была извлечена из размеченного корпуса, предоставленного для свободного доступа. Другая часть была получена с помощью онлайн-системы Sentiment140 анализа эмоциональной окраски.

Все примеры полученного обучающего множества взяты из мнений об электронной технике, а именно о мобильных телефонах, планшетах, плеерах.

Эффективность алгоритмов извлечения аспектов формулируется в терминах точности и полноты. В контексте решаемой задачи эти метрики имеют следующий смысл. Алгоритм извлечения аспектов проверяет каждый термин документа на принадлежность множеству аспектов. Тогда точностью этого алгоритма называется отношение числа правильно определенных аспектов к числу всех терминов, отнесен-

ных к классу аспектов, а полнотой – отношение числа правильно определенных аспектов к числу аспектов в документе.

Для тестирования используются предложения, взятые из размеченного корпуса. Из корпуса взяты 1700 предложений из отзывов о смартфонах и 1100 отзывов о ноутбуках. В каждом из этих предложений выделены аспекты. Результаты тестирования реализованного алгоритма показаны в таблице.

Результаты тестирования

Домен	Точность	Полнота
Смартфоны	0,67	0,79
Ноутбуки	0,61	0,71

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы: для решения задачи определения полярности предложений и коротких сообщений эффективны алгоритмы обучения с учителем. Проблемой обучения с учителем является составление тренировочного корпуса с примерами из предметной области, в которой будет использоваться классификатор. Однако схожей проблемой обладают и словарные методы: веса терминов словаря, составленного для одной предметной области, могут оказаться неадекватными для другой. Задача определения полярности текста успешно решается с помощью методов обучения с учителем. Для увеличения эффективности этих методов используются лингвистические и частотные фильтры, позволяющие отсеивать слова, не имеющие отношения к аспектам.

УДК 621.771:621.774.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЛИБРОВ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ РЕДУКЦИОННО-РАСТЯЖНОГО СТАНА С ЦЕЛЮ УМЕНЬШЕНИЯ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ

М. В. Оборов, М. Н. Верещагин

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

В настоящее время бесшовные трубы являются одним из основных элементов, применяемых в самых различных отраслях промышленности. Горячекатаные бесшовные трубы находят свое применение в машиностроении, нефтегазодобывающей сфере промышленности, строительстве, коммунальном хозяйстве.

В редуционных трубопрокатных станах, в частности редуционно-растяжных, работающих без внутреннего инструмента, при прокатке возникает явление, связанное с образованием многоугольной или полигональной формы. Внутренний диаметр трубы имеет форму, отличающуюся от круглого поперечного сечения, которую можно при применении трех калибров прокатных валков описать как шестиугольную форму в поперечном сечении с закругленными кромками.

Образование дефекта вызвано неравномерностью уменьшения диаметра вдоль периметра трубы. Появление дефекта в значительной степени возрастает при прокатке толстостенных труб с отношением толщины стенки к наружному диаметру $S/D \geq 0,2$.

Целью данного исследования является выявление оптимальных параметров круглого калибра прокатного валка с выпусками по радиусу, позволяющих устранить дефекты, связанные с производством толстостенных труб.

Так как экспериментальное определение оптимальных параметров при действующем производстве в промышленных условиях связано с большими затратами, для исследования был выбран метод конечно-элементного анализа.

В качестве исходных данных была выбрана труба 88,9x25 ($S/D = 0,28$) из марки стали 41Cr4 (аналог стали 40X) по DIN EN 10297-1. Температура трубы на входе в стан – 980 °С; скорость – 1 м/с. Рассчитана калибровка для изготовления данной трубы и определены переменные параметры калибра – R_1 , X , Y , угол α (рис. 1).

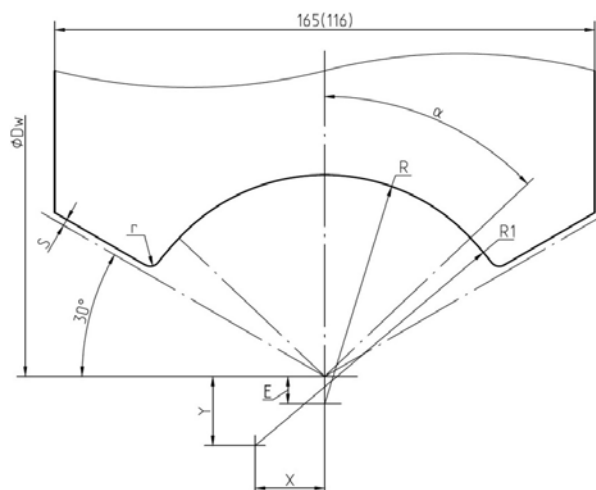


Рис. 1. Общий вид круглого калибра с выпусками по радиусу

С заданными граничными пределами для каждого из параметров, с равным шагом были определены экспериментальные нарезки. Трехмерная модель валков, составляющих калибр, выполнялась в программном комплексе SolidWorks. Процесс прокатки был смоделирован в программном комплексе Simufact.

Результаты моделирования позволили установить оптимальные значения исследуемых параметров и выявить определенные зависимости, влияющие на устранение дефектов. В частности, радиус выпуска влияет на характер захвата и форму поверхности контакта металла с валками (рис. 2). Характер задней линии очага деформации стремится к прямой линии, что обуславливает лучший захват и, самое главное, равномерное распределение внутренних напряжений в металле заготовки, что положительно влияет на устранение дефекта внутренней поверхности трубы (рис. 3).

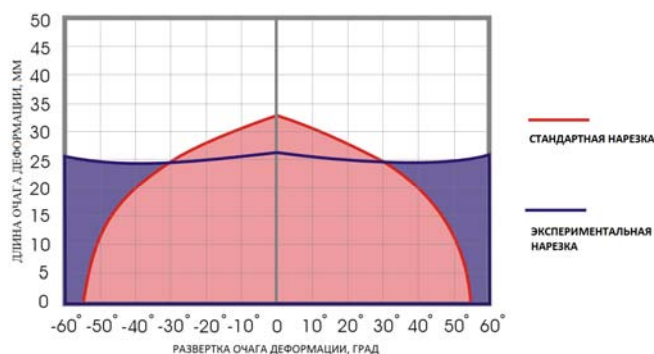
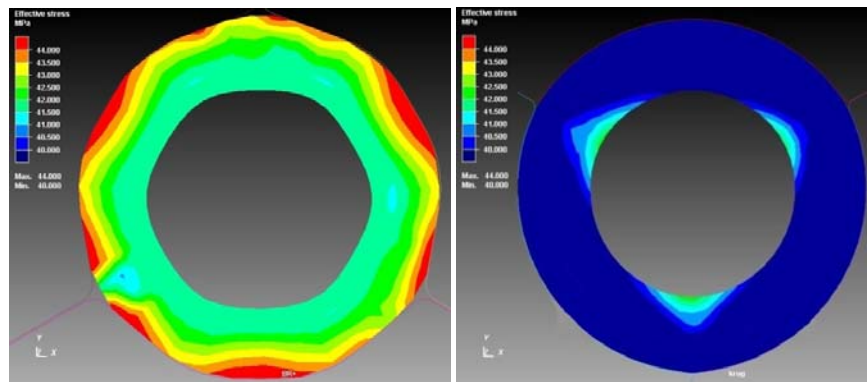


Рис. 2. Поверхность контакта металла с валками



а)

б)

Рис. 2. Радиальное сечение очага деформации:

а – стандартная нарезка валков; б – экспериментальная нарезка валков

Данное исследование дало возможность определить оптимальные значения геометрии калибра, что позволило исключить возможность появления дефекта внутренней граненности, расширить выпускаемый сортament продукции и сократить затраты на сменный инструмент (валки).

УДК 004.021

АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ ПОРОЖДАЮЩИХ ПОЛИНОМОВ M-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Ю. А. Толстогузов

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

В основу построения M -последовательностей положены порождающие полиномы, в качестве которых выступают примитивные полиномы с коэффициентами поля Галуа $GF(2)$. Число таких полиномов зависит от их степени и вычисляется на основе функции Эйлера. Для генерации M -последовательности с периодом $M = 2^n - 1$ используется примитивный полином $h(x)$ степени n с коэффициентами $GF(2)$, т. е.

$$h(x) = \sum_{i=0}^n h_i x^i, \quad (1)$$

где $h_0 = h_n = 1$, а $h_i = \{0, 1\}$ при $0 < i < n$. Примитивные полиномы существуют для всех $n > 1$. Известно [1], что для конкретного значения n существует точно

$$N = \frac{\Phi(M)}{n} \quad (2)$$

различных полиномов $h(x)$, являющихся примитивными. Функция $\Phi(M)$, называемая функцией Эйлера, представляет собой количество положительных целых чисел, меньших или равных M и взаимно простых с M . Так как функция $\Phi(M)$ с увеличением n быстро растет, то число полиномов степени n , порождающих M -последовательности, также быстро увеличивается.

Согласно работе [2] децимацией M -последовательности $\{a_j\}$ по индексу q_s , $s = \overline{2, 2n-2}$, называется выборка q_s -х элементов данной M -последовательности. Если период $M = 2n - 1$ исходной M -последовательности и индекс децимации q_s взаимно просты, т. е. $\text{НОД}(M, q_s) = 1$, децимация называется собственной или нормальной. Собственную децимацию $\{a_j\}$ по индексу q_s обозначим как $\{a_j\}^{q_s}$, а полученную в результате децимации M -последовательность – как $\{b_j\}$. Таким образом, можно записать выражение

$$\{b_j\} = \{a_j\}^{q_s}. \quad (3)$$

Опишем алгоритм получения порождающих полиномов M -последовательности:

1. Выбираем полином вида (1) из таблиц известных примитивных полиномов или генерируем его другим известным образом.
2. Представим имеющийся примитивный полином через порождающую матрицу A [3].
3. Вычислим матрицу $M' = A^n \oplus Ix$, где n – взаимно простое число с периодом полинома.
4. Найдем определитель полученной матрицы M' .

Полученный определитель и будет децимированным по индексу q_s порождающим полиномом M -последовательности.

Литература

1. Ожиганов, А. А. Использование псевдослучайных последовательностей при построении кодовых шкал для преобразователей линейных перемещений / А. А. Ожиганов, Жуань Чжипэн // Изв. вузов. Приборостроение. – 2008. – Т. 51, № 7. – С. 28–33.
2. Сарвате, Д. В. Взаимно-корреляционные свойства псевдослучайных и родственных последовательностей / Д. В. Сарвате, М. Б. Персли // ТИИЭР. – 1980. – Т. 68, № 5. – С. 59–95.
3. Мурашко, И. А. Методы минимизации энергопотребления при самотестировании цифровых устройств / И. А. Мурашко, В. Н. Яролик. – Минск : Бестпринт, 2004. – 188 с.

УДК 621.745

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В РОТАЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Л. Е. Ровин, В. А. Жаранов

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

Высокие потенциальные возможности по интенсификации процессов нагрева, плавления и осуществления физико-химических реакций при рециклинге дисперсных железосодержащих отходов могут быть реализованы только в тепловых агрегатах с высокой интенсивностью теплообменных процессов. Таковыми для полидисперсных материалов являются вращающиеся (ротационные) печи, где объемный коэффициент теплопередачи (α_v) в динамическом продуваемом слое на три порядка превышает значение коэффициента для неподвижного слоя в стационарных печах.

Для математического описания движения газов в ротационных печах использовалась система уравнений Навье–Стокса для реальных неизотермических потоков, уравнений неразрывности, сохранения энергии и состояния, а изменения температуры описывались с помощью уравнения Фурье–Кирхгофа. Тепловой баланс проверялся путем совместного решения для тех же исходных данных уравнения Фурье с граничными условиями III рода для динамического слоя материала при замене коэффициента теплопроводности (λ) на приведенный коэффициент теплообмена ($\alpha_{пр} = \alpha_k d_{экр}$) для продуваемого слоя.

Для исследования аэродинамических и тепловых процессов, протекающих в условиях высоких градиентов температур и скоростей, были применены прикладные программные пакеты (ППП) ANSYS CFX и Solid Works Flow Simulation.

Для определения количественных характеристик движения дисперсных материалов в ротационной наклоняемой печи, особенно на микроуровне (в масштабе частицы), было проведено компьютерное моделирование с использованием прикладного программного пакета CD-Adapco Star CCM+ и метода DEM (конечных элементов). Расчет выполнялся на основе мгновенного баланса сил тяжести, инерции, упругих сил контакта с другими частицами и пограничных сил. В расчете учитывались силы аутогезии и адгезии.

В соответствии с полученными результатами компьютерного моделирования были модернизированы действующие и спроектированы новые, которые позволили почти в 1,5 раза увеличить тепловой КПД (до 25–28 %), на 10–12 % сократить время плавки, почти на 30 % снизить пылеунос и соответственно увеличить выход металла.

УДК 004.932

КЛАССИФИКАЦИЯ СЖАТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ ГЛУБИННОГО ОБУЧЕНИЯ

П. В. Гончаров

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

Классификация изображений – одна из основных задач машинного обучения. Однако использование всех пикселей изображения в качестве входного обучающего вектора делает процесс обучения очень долгим и, вместе с тем, увеличивает количество межнейронных связей, что неизбежно приводит к плохой сходимости функции «стоимости».

В настоящей работе рассматривается метод извлечения признаков изображений, по которым будет производиться дальнейшее распознавание. Как показал М. Крамер [1], нелинейный метод главных компонент (НМГК) работает лучше, чем эквивалентный метод главных компонент (МГК).

Трансформированные в новое пространство признаков изображения нужно классифицировать. Чтобы достичь максимального качества распознавания, следует увеличить количество слоев, что сильно осложняет процесс обучения и снижает вероятность сходимости функции «стоимости». Для решения этой проблемы использована сеть глубокого доверия (СГБ) [2].

Использование СГБ позволяет избежать проблемы взрывного роста или затухания градиентов [3], но процесс обучения СГБ – трудная и тяжелая в вычислительном плане задача. Для ускорения обучения и устранения проблем сходимости в работе применена глубинная нейронная сеть (ГНС) с нормализованной инициализацией весов:

$$W \sim U\left[-\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{n_j + n_{j+1}}}, \frac{\sqrt{6}}{\sqrt{n_j + n_{j+1}}}\right], \quad (1)$$

где $U[-a, a]$ – равномерное распределение на интервале $(-a, a)$; n – количество нейронов предыдущего слоя.

Подбор параметров для каждой искусственной нейронной сети осуществлялся с помощью метода *GridSearchCV* (см. *scikit-learn.org*). В таблице представлен сравнительный анализ результатов классификации сжатых до 64 главных компонент изображений (2,5 % от исходного размера изображений для базы *FERET*), из которого видно, что СГБ дает лучший результат. В качестве выборок для обучения и тестов использовались две известных базы данных изображений: «*MNIST handwritten digit database*» и «*FERET face database*».

Сравнительный анализ результатов классификации

Базы	Перцептрон	ГНС	СГБ
MNIST	0,7977	0,9285	0,9839
FERET	0,8750	1,0000	1,0000

Литература

1. Kramer, M. A. Nonlinear principal component analysis using autoassociative neural networks // *AICHE journal*. – 1991. – Vol. 37. – № 2. – P. 233–243.
2. Deep belief networks using discriminative features for phone recognition / A. Mohamed [et al.] // 2011 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP). – IEEE, 2011. – P. 5060–5063.
3. Glorot, X. Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks / X. Glorot, Y. Bengio // *Aistats*. – 2010. – Vol. 9. – P. 249–256.

УДК 622.23.05

ВАРИАНТЫ РАЗРАБОТКИ ЗАПАДНО-ЧУМПАССКОГО ЛИЦЕНЗИОННОГО УЧАСТКА

М. С. Панасенко

ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», ТПП «Лангепаснефтегаз»,
г. Лангепас, Российская Федерация

В работе представлена технология бурения горизонтальных, наклонно-направленных и двуствольных наклонно-направленных скважин.

При этом решались следующие задачи:

- Изучение геологического строения залежи.
- Рассмотрение вариантов разработки.
- Проведение оценки экономической эффективности данного проекта.

Чумпасское нефтяное месторождение расположено на границе Сургутского и Нижневартовского административных районов Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области, в 8 км к западу от г. Лангепас. На лицензионном участке

числятся начальные извлекаемые запасы нефти по категории C_1 в количестве 4017 тыс. т, по категории C_2 – 4220 тыс. т.

В результате построения геологической и гидродинамической модели пласта ЮВ1 Западно-Чумпасского лицензионного участка была получена система, позволяющая с высокой точностью оценить местоположение текущих запасов нефти, геологические условия района, области низкой дренируемости добывающими скважинами. По полученной гидродинамической модели были произведены прогнозные расчеты, с целью выявления дальнейших показателей разработки по пласту ЮВ1 и нахождения участков, где по мере истечения времени нефтенасыщенность не уменьшается. Такими участками являются те части месторождения, которые слабо дренируются ближайшими добывающими скважинами и на которые отсутствует влияние системы нагнетательных скважин. В данной работе на модели Западно-Чумпасского лицензионного участка было предложено несколько вариантов разработки.

Вариант 1 – наклонно-направленные и горизонтальные скважины:

- бурение 30 горизонтальных и наклонно-направленных, размещение проектных скважин по сетке 425×425 м, рядная система;
- формирование систем ППД (поддержание пластового давления) 33 наклонно-направленных скважин.

Вариант 2 – наклонно-направленные скважины:

- бурение 115 наклонно-направленных скважин, размещение проектных скважин по сетки 425×425 м, девятиточечная система;
- осуществляется формирование системы ППД (поддержание пластового давления) 33 скважин.

Вариант 3 – наклонно-направленные скважины с двуствольным окончанием:

- бурение 46 наклонно-направленных скважин с двуствольным окончанием и 32 наклонно-направленных скважин, размещение проектных скважин по сетки 425×425 м, девятиточечная система;
- осуществляется формирование системы ППД (поддержание пластового давления) 32 скважины.

Проанализировав три варианта разработки пласта ЮВ1 Западно-Чумпасского лицензионного участка, можно сделать вывод о том, что осуществление второго варианта разработки позволит:

- ускорить окупаемость инвестиций;
- достигнуть проектного коэффициента извлечения нефти;
- извлечь за 15 лет 3910 тыс. т нефти.

УДК 004.932

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СВОБОДНЫХ ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ НА АВТОСТОЯНКЕ

С. И. Новик

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

В крупных городах с каждым годом все насущней и острее становится проблема парковки автомобилей. Поиск свободного места становится слишком долгим, а количество машин, находящихся в движении, значительно увеличивается. В результате образуются пробки и локальные заторы при въезде-выезде из парковки.

Наиболее эффективный выход из сложившейся ситуации – это динамическая система определения количества свободных парковочных мест на парковке, позволяющая водителям узнавать о свободных местах без необходимости совершать въезд-выезд на парковку, определенный участок парковки, если она разделена на несколько частей. Помимо водителя система служит в помощь и оператору. Оператор на специализированном автоматизированном рабочем месте отслеживает картину заполнения парковки в целом, что позволяет при необходимости направить потоки автомобилей в более свободную зону, тем самым разгружая автостоянку. Таким образом, подобный аппаратно-программный комплекс способен решать, помимо основной задачи определения свободных парковочных мест, задачу распределения потоков автомобилей для разгрузки транспортных коридоров.

Простейшая реализация описываемого комплекса, определяющего количество свободных мест на автостоянке, включает в себя следующие составляющие:

- камера наблюдения;
- персональный компьютер;
- программное обеспечение.

Определить количество занятых парковочных мест можно посредством распознавания изображения, полученного с камеры наблюдения.

В целях получения наиболее корректных результатов требуется выполнить эталонный снимок пустой автомобильной стоянки, провести его предварительную обработку – маскировку неиспользуемых областей снимка, выделение (разметку) парковочных мест на фотоснимке, перевод снимка в фиксированный формат для дальнейшей обработки.

Распознавание свободных парковочных мест (из числа маркированных мест на эталонном снимке) выполняется любым подходящим алгоритмом сравнения изображений, обладающим достаточной точностью и приемлемой скоростью выполнения. Дальнейший ход обработки полученных на предыдущем этапе данных включает в себя вычисление занятых парковочных мест и сопоставление данных с количеством размеченных мест на эталонном снимке. Разница этих величин будет соответствовать количеству свободных парковочных мест на автостоянке.

Для поддержания информации о количестве свободных парковочных мест в актуальном состоянии мониторинг автостоянки необходимо проводить с интервалом от 1 до 5 мин, в зависимости от количества установленных камер и величины парковки. В случае полной занятости парковки сигнал поступает оператору, который, в свою очередь, принимает решение о возможном перераспределении автомобилей в другие транспортные коридоры.

Л и т е р а т у р а

1. Яне, Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне // Техносфера. – 2007. – 584 с.

СЕКЦИЯ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ. МЕХАТРОНИКА

УДК 531.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

А. Ю. Войтов, В. В. Кузнецов

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск

В докладе представлены результаты по разработке математической модели системы перемещений, построенной на манипуляторе параллельной кинематики с тремя степенями свободы, предложенной авторами для встраивания в автоматизированное оборудование оптоэлектроники, лазерных технологий и прецизионного приборостроения. В работе исследовалась система перемещений, построенная на рассматриваемом манипуляторе параллельной кинематики, предназначенная для лазерного формирования трехмерных объектов в стекле и других прозрачных диэлектриках [1]. Она состоит из кольцевого привода прямого действия с кольцевым статором и тремя шаговыми двигателями в виде автономно управляемых сегментов и кинематической группы из четырех треугольных подвижных звеньев, связанных между собой вращательными соединениями. В свою очередь внешние элементы группы связаны шаровыми соединениями с подвижными сегментами привода. Лазерный инструмент устанавливается на подвижной платформе.

Базовыми конструктивными параметрами исполнительного механизма системы являются параметры, определяющие его геометрическую конфигурацию: R – средний радиус кольцевого привода; длины сторон подвижных треугольных звеньев были приняты равными между собой и равными a . Функции положения ведущих звеньев, определяющие положение во времени каждого из трех подвижных сегментов, в работе задаются текущими значениями углов, определяющих положения точек шаровых шарниров на кольцевой направляющей. Изменение этих углов в процессе работы системы перемещений в конечном итоге приводит к изменению пространственного положения подвижного треугольного звена (рабочей платформы), предназначенного для реализации требуемых программируемых движений.

В работе предложена математическая модель описания топологии и кинематики рассматриваемого манипулятора, на основании которой выполнена алгоритмизация прямой задачи кинематики как задачи позиционирования рабочей платформы в трехмерном пространстве, приводимое в движение тремя управляемыми сегментными модулями кольцевого привода. В результате были получены функции положения характерных точек платформы, а также их скорости и ускорения.

По итогам компьютерного численного решения в среде MATLAB были получены текущие значения обобщенных углов однозначно соответствующие текущим положениям центров шаровых шарниров, определяющих входные позиционные характеристики управляемых сегментов на кольцевом приводе.

Для проведения интерактивного исследования и оптимизации исполнительного механизма рассматриваемой системы перемещений с тремя степенями свободы было

разработано программное приложение в среде MATLAB, позволяющее выполнять визуализацию его 3D-графической модели в состояниях подвижной реконфигурации. Управление движением звеньев модели осуществляется параметрическим образом.

Литература

1. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / С. Е. Карпович [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.

УДК 531.1

СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ТРЕХ ПЛАНАРНЫХ ПОЗИЦИОНЕРАХ

В. В. Кузнецов, А. Ю. Войтов

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», г. Минск*

С появлением гибридного многокоординатного привода синхронного типа [1], реализующего электронную редукцию перемещений без механических трансмиссий, стало возможным конфигурирование систем перемещений в виде манипуляторов параллельной кинематики с необходимым числом управляемых степеней свободы. В настоящем докладе рассматривается предложенная нами система перемещений, которая конфигурируется в виде многокоординатного манипуляционного исполнительного механизма, представляющего собой раскрывающийся тетраэдр, внешние подвижные вершины которого перемещаются планарными позиционерами в плоскости, параллельной плоскости статора.

Планарные позиционеры представляют собой подвижные двухкоординатные модули на двухкоординатных линейных шаговых двигателях x -, y -исполнения [2] с плоским рабочим зазором между активным индуктором однофазного или двухфазного модуля управления движением и пассивного статора с регулярной зубцовой нарезкой. Для таких конструкций планарных позиционеров и многокоординатных систем на их основе характерно наличие общего для всех позиционеров плоского статора в виде магнитомягкого основания с ортогональной зубцовой нарезкой необходимых размеров или плиты, собираемой секционно из отдельных фрагментов. Такая конструктивная интеграция нескольких планарных позиционеров на одном статоре позволяет реализовывать многокоординатный привод с необходимым числом степеней свободы с общим аппаратным и программным интерфейсом для всех действующих управляемых координат, которые связаны между собой соответствующим механизмом параллельной кинематики. Управление такой многосвязной системой невозможно без использования математической модели, описывающей структурно-кинематические связи и характеристики системы в целом.

На основании разработанной математической модели и выполненной алгоритмизации были разработаны программы моделирования в среде MATLAB, в том числе пользовательские интерфейсы решения прямой и обратной задачи кинематики с интерактивной визуализацией самого исполнительного механизма, границ рабочей области и графиков изменения координат, скорости и ускорения характерных точек.

Таким образом, в результате проведенного исследования разработана математическая модель в виде аналитических выражений для координат центров сферических шарниров на управляемых позиционерах в зависимости от положения и ориентации в

трехмерном пространстве рабочей платформы. Разработанные программы позволяют проводить имитационное компьютерное моделирование позиционных и кинематических характеристик рассмотренной системы перемещений в среде MATLAB с интерактивной визуализацией.

Л и т е р а т у р а

1. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / В. В. Жарский [и др.] ; под ред. С. Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.
2. Карпович, С. Е. Системы перемещений на основе привода прямого действия / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк. – Минск : БГУИР, 2008. – 239 с.

УДК 62-83-52

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, Л. В. Веппер

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

В информационных каталогах современных асинхронных двигателей (АД) серий АИР, 5А и 6А отсутствуют параметры активных и реактивных сопротивлений данных двигателей. Однако при моделировании динамики частотных электроприводов и настройке систем управления асинхронных электроприводов необходимо знать параметры схемы замещения асинхронной машины.

Анализ последних исследований. Вопросам расчета параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя посвящен ряд работ [1]–[3], в которых используются различные методы определения параметров схемы замещения: итерационный; на основе опытов холостого хода и короткого замыкания; с использованием уравнения асинхронной машины и ее характеристик.

Для использования этих методик часто требуется дорогостоящая специальная аппаратура, они сложны в исполнении и не всегда точны. Поэтому рассматривались безытерационные методики расчета параметров схемы замещения [4], отличающиеся простотой исполнения и позволяющие определять параметры схемы замещения АД на основе каталожных данных.

В докладе приводятся результаты проведенных исследований, в частности численный расчет параметров по двум известным методикам: методика определения параметров из расчета потерь мощности в АД (методика Фираго) [2]; методика расчета параметров схемы замещения при частичной нагрузке АД (методика Качина) [1]. Численная апробация этих методик производилась для двигателей 4А мощностью от 1,5 до 160 кВт (с синхронными частотами вращения 3000, 1500, 1000 об/мин).

Методы определения параметров эквивалентной схемы замещения АД по каталожным данным и расчетным коэффициентам нельзя считать полностью удовлетворительными в плане решения поставленной задачи, поскольку неизбежно отклонение каталожных данных от данных реальной машины. В особенности это относится к двигателям, прошедшим капитальный ремонт. Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

– методика Качина дает наиболее точный расчет параметров схемы замещения АД (с погрешностью менее 15 %) для двигателей на 1500 и 3000 об/мин и мощностью более 10 кВт;

– методика Фираго дает хорошие результаты расчета следующих параметров схемы замещения: сопротивлений R_2 и X_{μ} (для АД с числом полюсов равным 6).

Литература

1. Качин, С. И. Электрический привод : учеб.-метод. пособие / С. И. Качин, А. Ю. Чернышев, О. С. Качин ; Том. политехн. ун-т. – Томск : Том. политехн. ун-т, 2009. – 157 с.
2. Фираго, Б. И. Учебно-методическое пособие к курсовому проектированию по теории электропривода для студентов специальности 1-53 01 05 / Б. И. Фираго. – Минск : БИТУ, 2004. – 88 с.
3. Усольцев, А. А. Определение параметров модели асинхронного двигателя по справочным данным / А. А. Усольцев, Д. В. Лукичев // Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение. – 2005. – № 12. – С. 35–41.
4. Островский А. В. Безытерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя / А. В. Островский // Праці ТДАТУ. – Вип. 12. – Т. 2. – 2012. – С. 66–72.

УДК 004.822:514

УСТРОЙСТВО ГОЛОСОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА

П. А. Меньшаков, И. А. Мурашко

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

Первоначальным этапом является получение голоса пользователя. Для этого необходим микрофон, фильтр и аналого-цифровой преобразователь для дальнейшей работы с цифровой записью голоса. В общем виде процесс ввода речевых сообщений приведен на рис. 1.

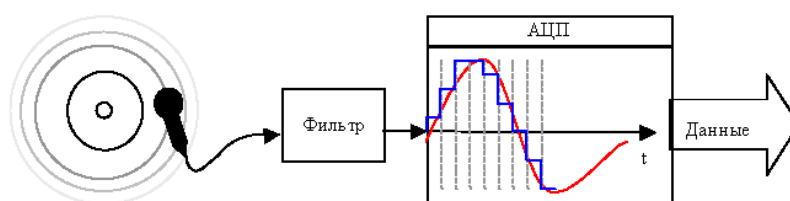


Рис. 1. Схема ввода записи голоса

С выхода микрофона сигнал подается на вход блока фильтрации. Следующим этапом является прохождение АЦП [1]. Номер канала несет информацию об амплитудном значении сигнала.

Далее оцифрованный сигнал попадает в блок цифровой обработки. В блоке цифровой обработки сигнал фильтруется и преобразуется в вектор, с которым в дальнейшем будет работать микропроцессор и нейросетевой обработчик. Также полученный вектор заносится в энергонезависимую память. Это необходимо для последующего сравнения с полученным отпечатком.

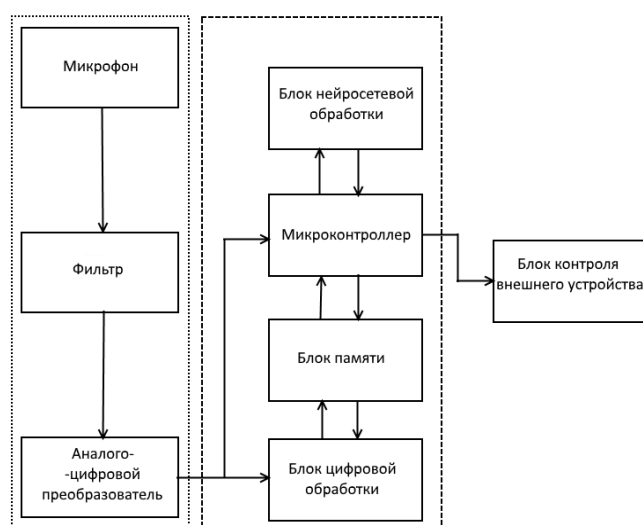


Рис. 2. Схема устройства

После сравнения отпечатка микроконтроллер подает команду на блок управления внешним устройством. Общая схема устройства представлена на рис. 2. Реакция блока управления внешним устройством настраивается в соответствии с требованиями контроля.

Литература

1. Bosi, M. Introduction to digital audio coding and standards / M. Bosi, R. E. Goldberg // Springer Science+Business, Media USA. – 2003. – 434 p.

УДК 621.313.333

ВЛИЯНИЕ МОМЕНТА РАСТОРМАЖИВАНИЯ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИЗНОС ФРИКЦИОННЫХ НАКЛАДОК В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ СО ВСТРАИВАЕМЫМ КОМБИНИРОВАННЫМ ТОРМОЗНЫМ УСТРОЙСТВОМ

В. В. Соленков, В. В. Брель

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

Время и путь торможения электропривода с частыми пуско-тормозными режимами, содержащего асинхронный двигатель со встраиваемым комбинированным тормозным устройством (АД с ВКТУ), зависят от того, в какой момент времени происходит растормаживание электромагнита. При этом учитывают другие немаловажные критерии: износостойкость тормозного устройства и плавность торможения электропривода [1].

В общем случае АД с ВКТУ содержит асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, электромеханический нормально-замкнутый тормоз, электромагнитную муфту скольжения и схему управления.

В докладе представлены механические характеристики торможения АД с ВКТУ при различных моментах растормаживания электромагнита. Различные механические характеристики приводят к разным видам переходных процессов в АД с ВКТУ и к разной степени износа фрикционных накладок электромеханического тормоза.

Приведена математическая модель и представлены переходные процессы в АД с ВКТУ. Формирование моделей для исследования на ЭВМ осуществлялось на языке программирования Fortran 2008. Расчет системы дифференциальных уравнений производился методом Рунге–Кутты.

Растормаживание электромеханического тормоза при различной скорости привело к разным значениям времени и путей торможения. Электроприводы производственных механизмов требуют различные характеристики торможения. Поэтому выбор скорости включения электромагнита для каждого электропривода должен производиться на основе требований к времени торможения и пути торможения, к износостойкости тормозных накладок и плавности торможения. Торможение на пониженной скорости существенно уменьшает износ фрикционных накладок электромеханического тормоза [2].

Показаны графики зависимости пути торможения и времени торможения при различных моментах растормаживания электромагнита. Оптимальным моментом включения электромеханического тормоза, обеспечивающим малый путь и малое время торможения, является момент при скорости $\omega_{\text{вкл}} = 0,6-0,8$ от номинальной. При этом допустимое число торможений для фрикционной накладки (по сравнению с механическим торможением) увеличится в $N = 1,6-2,8$ раза. Экспериментальные исследования подтвердили правильность полученных математических моделей и выявленных закономерностей.

Л и т е р а т у р а

1. Соленков, В. В. Асинхронный электродвигатель со встроенным комбинированным тормозным устройством на базе электромеханического тормоза и электромагнитной муфты / В. В. Соленков, В. В. Брель // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2011. – № 6. – С. 20–26.
2. Александров, М. П. Тормозные устройства / М. П. Александров, А. Г. Лысяков. – М. : Машиностроение, 1985. – 312 с.

УДК 621.313.333

ДВЕ КОНСТРУКЦИИ ВСТРАИВАЕМОГО В АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ТОРМОЗА

В. В. Соленков, В. В. Брель

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

Значение тормозных устройств возрастает в связи с интенсификацией производства, увеличением движущихся масс, скоростей перемещения и частоты торможений. В течение короткого периода времени тормозные устройства должны преобразовать в тепловую энергию значительное количество механической энергии и передать ее в окружающую среду без снижения работоспособности как устройства, так и машины в целом.

Часто для торможения электроприводов применяются нормально-замкнутые механические тормоза. При отключении электродвигателя от сети их фрикционные тормозные поверхности замыкаются и препятствуют вращению, а при включении – размыкаются под действием электромагнита, электрогидравлического толкателя, специального электродвигателя, механического или пневматического устройства.

В случае совместного выполнения асинхронного двигателя и механического тормоза привод быстрого останова является более компактным и удобным. Такие

устройства в дальнейшем будем называть асинхронными двигателями с электромеханическими тормозными устройствами (АД с ЭМТУ) [1].

Многочисленность требований, а также различия условий эксплуатации обуславливают большое разнообразие конструкций АД с ЭМТУ. Одним из существенных недостатков работы широко известных конструкции является периодический износ фрикционных накладок и необходимость частой их замены [2]. Решением данной проблемы является использование АД с встраиваемым комбинированным тормозным устройством [3]. Однако для некоторых производственных механизмов, не требующих плавной остановки и обладающих скоростью вращения вала электродвигателя $n_{\text{ном}} < 1500$ об/мин, более простым и дешевым решением является использование электромеханических тормозных устройств с компенсацией воздушного зазора. Из-за износа фрикционной накладки увеличивается воздушный зазор электромагнита. Данные устройства позволяют за счет компенсации воздушного зазора электромагнита дольше стирать материал фрикционной накладки.

Существующие в настоящее время конструкции электромеханического тормозного устройства с компенсацией воздушного зазора являются достаточно громоздкими или сложными в изготовлении. Поэтому авторами были разработаны, экспериментально исследованы и внедрены две новые, простые и дешевые конструкции электромеханического тормозного устройства с компенсацией воздушного зазора.

Л и т е р а т у р а

1. Соленков, В. В. Асинхронные двигатели с электромеханическими тормозными устройствами / В. В. Соленков, В. В. Брель // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2004. – № 4. – С. 28–32.
2. КЕВ GmbH. Electromagnetic Technology KEB (Germany) // Directory electromagnetic techniques. – 2015. – № 8. – Режим доступа: <http://www.keb.de>. – Дата доступа: 16.10.2015.
3. Соленков, В. В. Асинхронный электродвигатель со встроенным комбинированным тормозным устройством на базе электромеханического тормоза и электромагнитной муфты / В. В. Соленков, В. В. Брель // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2011. – № 6. – С. 20–26.

УДК 681.31

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПЕРЕДАЧЕЙ «ВИНТ-ГАЙКА» С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА MITSUBISHI ALPHA 2

В. А. Савельев, А. В. Аксенов

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

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) находят широкое применение при создании автоматизированных систем управления производственными процессами различной степени сложности. Их основное назначение – обеспечить предписанную технологическим процессом последовательность пуска и останова технологического оборудования, контроль его текущего состояния, отображение информации о состоянии объектов управляемого комплекса. Таким образом, одним из актуальных направлений при подготовке специалистов в области автоматизации является изучение особенностей применения и программирования современных ПЛК.

В учебно-исследовательской лаборатории кафедры «Автоматизированный электропривод» разработан и внедрен в учебный процесс учебно-исследовательский стенд на базе электропривода постоянного тока с передачей «винт-гайка» с управлением от программируемого логического контроллера Mitsubishi Alpha 2, функциональная схема которого представлена на рис. 1.

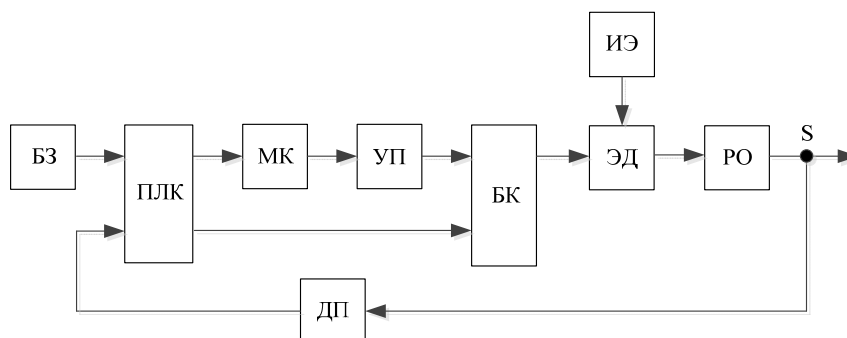


Рис. 1. Функциональная схема учебно-исследовательского стенда

Блок задания (БЗ) предназначен для формирования аналогового напряжения задания, поступающего в программируемый логический контроллер (ПЛК). В зависимости от положения ключей в блоке коммутации (БК) управление электродвигателем (ЭД) осуществляется либо непосредственно через релейные выходы ПЛК, либо через микроконтроллер (МК), который, в свою очередь, преобразует управляющий сигнал модуля аналогового вывода ПЛК в широтно-импульсный сигнал управления преобразователем (УП), питающим якорь ЭД. Электродвигатель приводит в движение рабочий орган (РО), который представляет собой механическую передачу винт-гайка, причем на гайке расположен постоянный магнит. Датчики положения (ДП) расположены вдоль винта. В качестве ДП используются герконы. При движении гайки с закрепленным на ней магнитом поочередно замыкаются контакты ДП, и сигнал о положении РО поступает в ПЛК.

Предложенный стенд позволяет исследовать работу ПЛК как в релейном, так и в аналоговом режимах управления технологическим объектом, приобрести практический навык составления управляющих программ, решать широкий круг задач по управлению рабочим органом, задавая различные режимы его движения.

УДК 621

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ В КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

В. В. Логвин¹, Л. В. Веппер¹, А. И. Рожков²

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

²ОАО «БМЗ – Управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Республика Беларусь

Крановое электрооборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется широким диапазоном регулирова-

ния скорости и постоянно возникающими значительными перегрузками при разгоне и торможении механизмов.

Оптимальная по быстродействию и динамичности система 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, необходимости ограничения ускорения для снижения уровня динамических нагрузок.

Реализация оптимального управления сводится к отысканию для описанных условий оптимального сигнала управления. В простейшем случае в интервалах пуска и замедления рывок скорости изменяется скачкообразно, ускорение – по трапецеидальному закону, скорость имеет параболические участки при изменении ускорения движения.

Для повышения стабилизации скорости и уменьшении колебаний используем 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. Это оправдано для контура тока, в котором постоянная времени T_{μ} образуется как не подлежащая компенсации сумма малых постоянных времени. Однако в последующие контуры регулирования вводят последовательно увеличивающиеся постоянные времена $4T_{\mu}$, $8T_{\mu}$, $16T_{\mu}$ и т. д. В результате происходит накопление T_{μ} -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 ограничиваются возможности подчиненных систем, так как можно оперировать только величиной T_{μ} , 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_{μ} -инерционностей. Вследствие этого не требуется динамического сопряжения контуров и появляется возможность формирования желаемой динамики.

Предложенная реализация регуляторов позволяет получить более высокое качество инвариантных систем за счет выполнения регуляторами более сложных функций управления, при этом они компенсируют не только большие постоянные времена, но и T_{μ} -инерционности предыдущего контура, а если имеется информация о возмущениях, то появляется возможности более сильной компенсации какого-либо конкретного возмущения, а также появляется возможность желаемого формирования динамических свойств контура в соответствии с конкретными требованиями, предъявляемыми к системе управления.

УДК 621.396.67

ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА НАД ПРОВОДЯЩИМ ЦИЛИНДРОМ ИЗ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

И. А. Фаняев¹, В. П. Кудин²¹Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», Республика Беларусь²Государственное учреждение образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Выпуклые антенные решетки имеют ряд достоинств в использовании антенных систем при круговом обзоре пространства. Одним из перспективных вариантов выпуклых антенных систем для обзорных радиолокационных станций являются цилиндрические фазированные антенные решетки.

Общие выражения для электромагнитного поля, возбуждаемого расположенной над проводящей цилиндрической поверхностью бесконечной фазированной антенной решеткой, состоящей из излучателей в виде полосковых вибраторов вертикальной поляризации, представлены в [1].

Целью данной работы является исследование случая фазированной антенной решетки над проводящей цилиндрической поверхностью из излучателей в виде полосковых вибраторов горизонтальной поляризации (рис. 1).

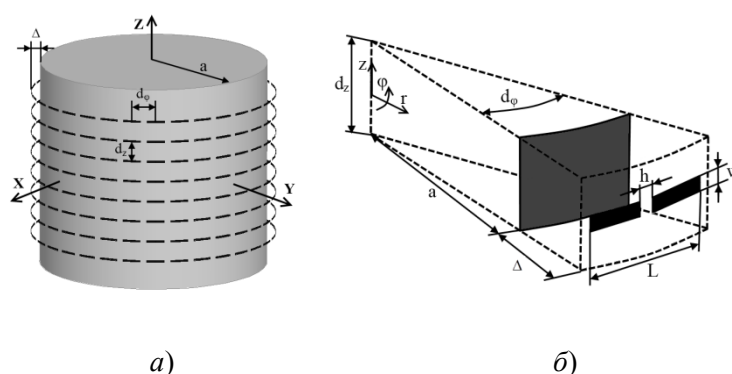


Рис. 1. Бесконечная антенная решетка полосковых излучателей горизонтальной поляризации над идеально проводящим цилиндром (а), модель излучателя (б)

В работе рассмотрено решение электродинамической задачи о внешнем возбуждении фазированной антенной решетки вблизи идеально проводящего бесконечно длинного круглого цилиндра излучателями в виде электрических вибраторов полоскового типа, ориентированных вдоль азимутальной оси φ (горизонтальная поляризация). Распределение поверхностного тока на вибраторах находится методом интегральных уравнений. Получены сходящиеся представления для матричных элементов, возникающих при решении методом Галеркина, а также формулы для расчета выходных характеристик антенной решетки (входное сопротивление вибратора, частичная диаграмма направленности, КНД одного излучателя). Проведенные численные исследования показали, что оптимальная геометрия решетки $d_\varphi = 0,7\lambda$, $\Delta = 0,2\lambda - 0,3\lambda$; оптимальный сектор возбуждения антенной решетки $\alpha = 120^\circ$; КСВ в питающих линиях во всех случаях не превышает значения 1,5.

Литература

1. Фаняев, И. А. Фазированная антенная решетка кругового обзора над проводящей цилиндрической поверхностью из излучателей вертикальной поляризации / И. А. Фаняев, В. П. Кудин // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2014. – № 6 (87). – С. 191–198.

УДК 621

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАНИЙ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И ГИРОСКОПОВ

Ю. В. Крышнев, Е. А. Ильюшиц

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, должны быть учтены в инженерном проектировании [1], [2].

В работе проведена оценка возможности позиционирования, используя инерциальные системы навигации, расчет погрешностей определения скорости и пройденного пути (табл. 1, 2).

Таблица 1

Вклад погрешности акселерометра

Погрешность	Погрешность линейной скорости, м/с	Погрешность координаты, м
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	$\sigma_{\Delta V} = VRW \frac{\Delta T}{\sqrt{2}}$	$\sigma_{\Delta X} = VRW \frac{\Delta T^{3/2}}{\sqrt{6}}$

Таблица 2

Вклад погрешности гироскопа

Погрешность	Погрешность линейной скорости, м/с	Погрешность координаты, м
Систематическая составляющая, Δn_{xg}^{sys} , м/с ²	$\Delta V_{xg} = g \Delta \omega \Delta T^2$	$\Delta X_{xg} = \frac{g \Delta \omega \Delta T^3}{2}$

Погрешность	Погрешность линейной скорости, м/с	Погрешность координаты, м
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 VRW , м/с ² /√Гц	$\sigma_{V_{xg}} = ARW \frac{g}{\sqrt{2}} \Delta T$	$\sigma_{X_{xg}} = ARW \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{2}} \frac{\Delta T^2}{2}$

Литература

1. Folded MEMSPyramid Inertial Measurement Unit / S. A. Zotov [et al.] // IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 11, № 11, NOVEMBER 2011. – P. 2780–2789.
2. Groves, P. D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems / P. D. Groves // ArtechHous. – 2008. – 505 p.

УДК 621.646.8:621.398

ПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ ТОНОВОГО И ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛОВ ДЛЯ ВНУТРИТРУБНЫХ УСТРОЙСТВ НЕФТЕПРОВОДА

С. Н. Кухаренко, С. В. Болденко

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

Применение внутритрубных технологических и диагностических устройств предусматривает контроль их местоположения в нефтепроводе в процессе эксплуатации.

На рис. 1 представлена функциональная схема передатчика тонального и фазоманипулированного сигналов для обнаружения внутритрубного устройства с поверхности.

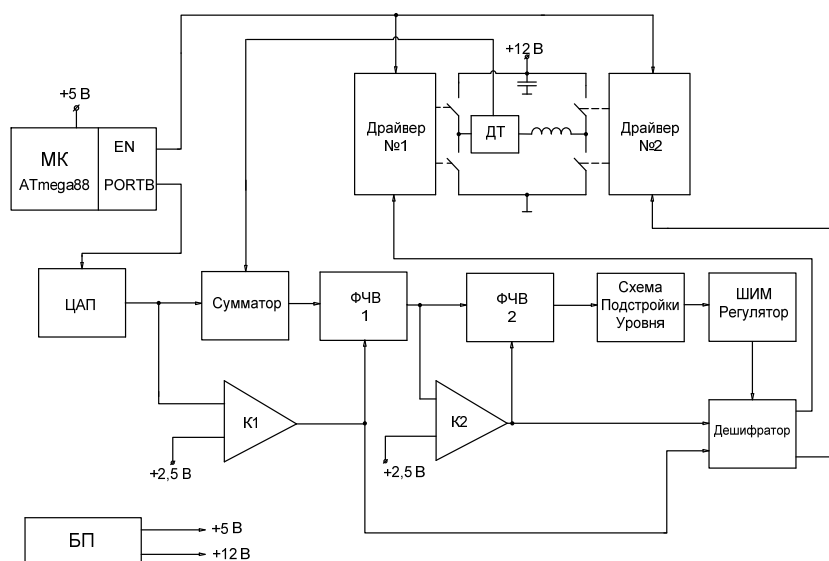


Рис. 1. Функциональная схема передатчика тонального и фазоманипулированного сигналов

Управление полумостами осуществляется микросхемами драйверов, которые содержат силовые каскады управления нижними и верхними ключами. Высокий логический уровень включает верхний транзистор полумоста, а низкий логический уровень – нижний транзистор полумоста. Такой принцип управления позволил обеспечить обмен реактивной мощностью между источником постоянного тока (батареей) и реактивной энергией индуктора, что, в свою очередь, минимизировало потери активной мощности. Микроконтроллер формирует отсчеты передаваемого тонового или фазоманипулированного сигнала и подает их на ЦАП. Компаратор К1 предназначен для определения полярности управляющего сигнала и формирования импульса управления полярностью ключей. Компаратор К2 предназначен для определения направления потока мощности. Для управления ключами мостовой схемы на вход драйверов поступает дешифрованный сигнал управления с выходов компараторов К1, К2 и выхода ШИМ-регулятора.

В ходе макетирования была подтверждена теоретическая модель передатчика тонового и фазоманипулированного сигналов в системе поиска внутритрубных снарядов.

Л и т е р а т у р а

1. Картер, Б. Операционные усилители для всех / Б. Картер, Р. Манчини. – М. : Додэка, 2016. – 305 с.
2. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Бином, 2014. – 278 с.

УДК 621

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА SCILAB ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Э. М. Виноградов

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

Современные вычислительные средства позволяют без особого труда и затрат времени решать сложные задачи управления в технических системах не традиционными методами, а с использованием математического аппарата любой степени сложности. В настоящее время одним из самых мощных среди универсальных вычислительных пакетов является Matlab. Применение Matlab в учебных целях привлекательно, но крайне затруднено из-за его дороговизны. Выходом является использование бесплатного, свободно распространяемого программного продукта Scilab, который предназначен для выполнения инженерных и научных вычислений. К сожалению, очень мало русскоязычной литературы, посвященной Scilab, особенно его применения для решения задач автоматического управления.

В инженерной практике наиболее часто используется представление системы автоматического управления в виде структурной схемы, состоящей из типовых динамических звеньев, описываемых передаточными функциями. Scilab также позволяет использовать этот подход. В пакете Scilab имеется функция *syslin*(), которая определяет линейное динамическое звено (или систему) по ее передаточной функции $W(p)$ в виде $W = \text{syslin}(c, W(s))$, где параметр 'c' указывает, что система с непрерывным временем, а s – символьная переменная. Затем, используя обычные правила преобразования структурных схем, необходимо получить эквивалентную функцию всей системы управления.

В Scilab имеется функция $csim()$, с помощью которой можно рассчитать временные характеристики системы. Имеется два вида стандартных входных сигналов и соответственно два варианта функции $csim()$:

$$h = csim('step', t, W), w = csim('impulse', t, W),$$

где h – это переходная функция $h(t)$, а $'step'$ – входной единичный ступенчатый сигнал $1(t)$; w – это импульсно-переходная функция $w(t)$, а $'impulse'$ – входной бесконечный импульс (единичная функция Дирака).

В пакете Scilab имеется несколько функций, с помощью которых можно вычислить и построить графики различных частотных характеристик линейных систем. Наиболее часто используются следующие функции: $bode()$ – диаграмма Боде, $nyquist()$ – диаграмма (годограф) Найквиста, $gainplot()$ – вычисляет и строит логарифмическую амплитудную частотную характеристику, $phaseplot()$ – вычисляет и строит фазовую частотную характеристику. Эти функции удобно применять в сокращенном формате:

$$bode(W), nyquist(W), gainplot(W), phaseplot(W),$$

в котором диапазон частот для вычисления составляет от 10^{-3} до 10^3 Гц, что вполне достаточно для большинства реальных систем.

В Scilab имеется особая часть программ, называемая Xcos, которая позволяет осуществить визуальное математическое моделирование динамических систем различных объектов. Создавать модель в Xcos удобно непосредственно по структурной схеме системы управления. С помощью блочной модели можно исследовать поведение системы при различных видах входных сигналов – ступенчатом, импульсном, гармоническом.

В докладе приведен пример исследования с помощью пакета Scilab системы автоматического управления, состоящей из четырех динамических звеньев.

УДК 621.38

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОГЕНЕРАТОРНОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ТОКОМ В ЭЛЕКТРОПРОПОРЦИОНАЛЬНОМ МАГНИТЕ

А. В. Карпов

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

Электро-пропорциональные магниты (ЭПМ) используются для электрического управления пропорциональными гидравлическими системами. Усилие, развиваемое ЭПМ, пропорционально току, протекающему по его обмотке возбуждения. Подпружиненный якорь, ЭПМ создают двигатель линейных перемещений, используемый в гидравлических системах для изменения проходного сечения трубопровода и, тем самым, изменение расхода [1]–[5].

ЭПМ со стороны электрических параметров (стороны управления) представляет собой дроссель с воздушным зазором в магнитопроводе, меняющимся по мере перемещения якоря. Таким образом, в условиях эксплуатации со стороны возбуждения изменяется индуктивность дросселя и его сопротивление «меди» (изменяется температура окружающей рабочей гидравлической жидкости). В этих условиях необходимо поддерживать ток в дросселе на уровне заданного. Традиционным способом управления током через ЭПМ осуществляется с использованием ключевого режима

путем подачи ШИМ (широтно-импульсного) напряжения. В этом случае длительность импульсов пропорциональна среднему току. Для обеспечения независимости тока от влияющих величин – изменения сопротивления «меди», изменения напряжения питания и изменения индуктивности – используется обратная связь по току, протекающему через ЭПМ [2]. Причем частота ШИМ напряжения остается неизменной.

Между тем известны регуляторы для ЭПМ, в которых по мере изменения тока частота ШИМ изменяется [3]–[5]. В этих регуляторах отсутствует внешний генератор ШИМ напряжения. Обзор публикаций такого способа управления не дал возможным выявить качественных соотношений между сигналом управления, параметрами ЭПМ и его средним током.

В данной работе был проведен анализ способа управления средним током в ЭПМ на основе автогенераторной схемы, в которой в качестве реактивного элемента используется индуктивность обмотки возбуждения ЭПМ. Представлены количественные соотношения, характеризующие работу схемы, которые были проверены на электродинамическом стенде. Сравнение способов показало, что автогенераторный способ управления дает упрощение блока управления.

Литература

1. Пропорциональная техника и техника сервоклапанов : учеб. курс гидравлики / А. Шмитт [и др.]. – Лор на Майне (ФРГ) : Маннесманн Рексрот ГмбХ, 1986. – 323 с. : ил.
2. Scholz, D. Proportional hydraulics / D. Scholz // Copyright by Festo Didactic GmbH & Co. – Denkendorf. – 2002. – 124 p.
3. Vickers: Electronics. – 2016. – Mode of access: <http://www.vickershydraulics.ru/pages/products/frame.htm>. - Date of access: 15.02.2016.
4. Андренко, П. М. Енергетичні характеристики процесу вібраційної лінеаризації гідроапаратів / П. М. Андренко // Вестн. Харьк. нац. автомобил.-дорож. ун-та. – 2004. – Вып. 24. – С. 39–42.
5. Карпов, В. А. Зависимость гистерезиса пропорциональных магнитов от параметров управляющего напряжения / В. А. Карпов, А. В. Ковалев, А. В. Карпов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 1. – С. 44–50.

УДК 621.38

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Ю. А. Козусев, С. Н. Кухаренко

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

Определение постоянной времени экспоненциального переходного процесса используется при измерении R, L, C -параметров и различных физических величин емкостными или индуктивными датчиками.

С целью повышения точности и помехозащищенности процесса измерения предлагается использовать метод АЦП двойного интегрирования.

На рис. 1 показаны временные диаграммы сигналов, поясняющие способ измерения.

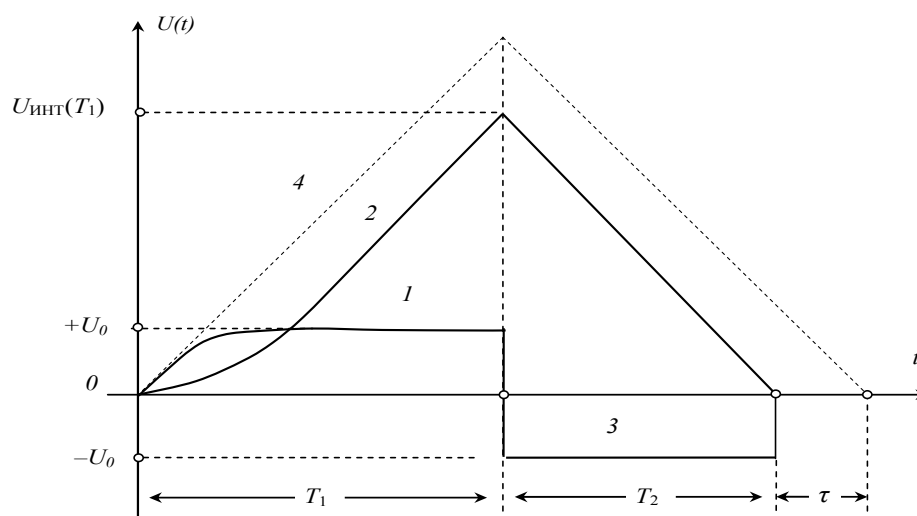


Рис. 1

Согласно способу определения постоянной времени переходного процесса на исследуемый объект подают скачок постоянного напряжения U_0 и интегрируют возникший сигнал переходного процесса (график 1) в течение интервала времени T_1 , при этом напряжение на выходе интегратора $U_{\text{инт}}$ (график 2) в момент окончания интервала T_1 соответствует условию

$$U_{\text{инт}}(T_1) = \frac{U_0}{T_{\text{и}}}(T_1 - \tau),$$

где $T_{\text{и}}$ – постоянная интегрирования интегратора; τ – постоянная времени переходного процесса.

По окончании интервала T_1 интегрируют постоянное напряжение, равное по модулю U_0 противоположной полярности (график 3), в течение времени T_2 до момента равенства нулю результата интегрирования, а постоянную времени переходного процесса τ определяют из выражения

$$\tau = T_1 - T_2.$$

График 4 соответствует интегрированию сигналов в случае $\tau = 0$ и следовательно $T_1 = T_2$.

Разработанный способ и устройство позволяют получить цифровой код, пропорциональный постоянной времени переходного процесса. Постоянная времени интегратора не влияет на результат измерения, при этом не требуются операции по выделению свободной составляющей переходного процесса.

Литература

1. Описание изобретения к патенту ВУ 20094 G01R29/02. Способ определения постоянной времени переходного процесса и устройство для его осуществления / Козусев Ю. А., Кухаренко С. Н.

УДК 621.646.8:621.398

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВНУТРИТРУБНОГО УСТРОЙСТВА В НЕФТЕТРУБОПРОВОДЕ

В. В. Щуплов, С. Н. Кухаренко

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

Задача поиска внутритрубного устройства (ВУ) в трубопроводе сводится к определению направления на него с места расположения приемной антенны или расстояния до него по оси трубопровода от контрольной точки.

Применение двух приемных антенн позволяет решить задачу определения места нахождения ВУ в трубопроводе, используя моноимпульсный метод пеленгации в одной плоскости, в частности суммарно-разностный амплитудный метод [1].

Суммарно-разностный амплитудный метод позволяет исключить влияние амплитуды и фазы сигнала на стабильность пеленгационной характеристики.

Пеленгационная характеристика при суммарно-разностном методе определяется отношением

$$U_{\text{вых}}(\alpha) \sim \frac{k_p}{k_c} \cdot \frac{F_p(\alpha)}{F_c(\alpha)},$$

где k_p , k_c – коэффициенты передач разностного и суммарного каналов; $F_p(\alpha)$, $F_c(\alpha)$ – диаграммы направленности (ДН) разностного и суммарного каналов.

Передающая и приемные антенны в разработанной системе при несущей частоте 22 Гц представляют собой многослойные катушки, которые можно рассматривать как рамочные антенны. Это подтверждают и экспериментальные ДН антенн.

Так как диаграммы направленности антенн на частоте 22 Гц имеют одинаковые фазовые диаграммы, то равносигнальное направление (РСН) и разные значения ДН для угла отклонения α от РСН можно получить не только разнесением их по углу на $\pm \alpha_0$, но и при соосном расположении на одной оси антенн ($\alpha_0 = 0$), но разнесенных друг от друга на расстояние L .

На рис. 1 приведены результаты моделирования для обоих вариантов положения антенн: для $L = 0,5$ м и расстояния до трубопровода $h = 5$ м, где Tx – это расстояние от нулевой координаты до прибора по оси трубопровода.

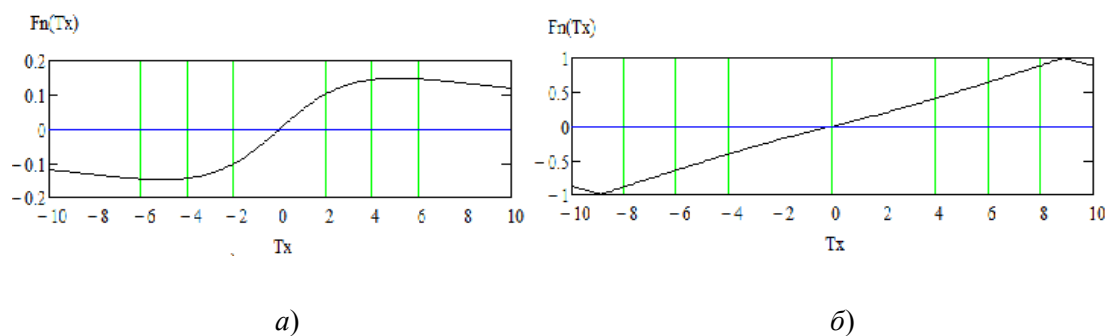


Рис. 1. Пеленгационные характеристики:

$a - \alpha_0 = 0$; $b - \alpha_0 = \pi/6$

Результаты моделирования показывают, что применение двух антенн дает возможность пеленга ВУ с использованием суммарно-разностного метода с разнесением антенн в пространстве.

Литература

1. Радиолокационные устройства / В. В. Васин [и др.]. – М. : Совет. радио, 1970. – 680 с.

УДК 621.38

ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛЛА

В. А. Карпов, О. М. Ростоккина, А. В. Карпов, Ю. Е. Котова

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

Современные элементы Холла (ЭХ) широко используются в промышленных применениях совместно с постоянными магнитами в качестве датчиков линейных перемещений [1]–[3]. В таких применениях предъявляются повышенные требования к ЭХ в части температурной стабильности. Различают температурный дрейф чувствительности и температурный дрейф нулевого уровня. Последний значительно выше (в 4–5 раз). Между тем, в технических характеристиках, предоставляемых производителем, нет данных о зависимости температурного дрейфа нулевого уровня от напряжения питания [3].

Для выяснения этого вопроса была реализована экспериментальная установка. В результате проведенного эксперимента была получена следующая формула для выходного напряжения ЭХ $\Delta U_{\text{ЭХ}} = \frac{E_{\text{п1}} - E_{\text{п2}}}{2} + SB(E_{\text{п1}} - E_{\text{п2}})$, из которой видно, что для снижения температурного дрейфа нулевого уровня ЭХ необходимо найти разность двух измерений выходного напряжения с использованием разного питающего напряжения.

Затем был предложен измерительный преобразователь по следующей структурной схеме (рис. 1), где Г – генератор прямоугольного однополярного напряжения, типа меандр, с амплитудой напряжения $E_{\text{п2}}$ (5 В); Сумм – сумматор, сдвигающий напряжение на $E_{\text{см}}$; $E_{\text{см}}$ – напряжение смещения (≈ 5 В), например $E_{\text{см}} + E_{\text{п1}} = E_{\text{п2}} = 10$ В; ЭХ – элемент Холла; ОСх – обрабатывающая схема; ФЧВ – фазочувствительный усилитель, управляющий вход которого подсоединен к выходу Г, причем коэффициент усиления ФЧВ равен +1, если на выходе Г высокий уровень напряжения и, соответственно, –1, если на выходе Г нулевой уровень; ФНЧ – фильтр нижних частот

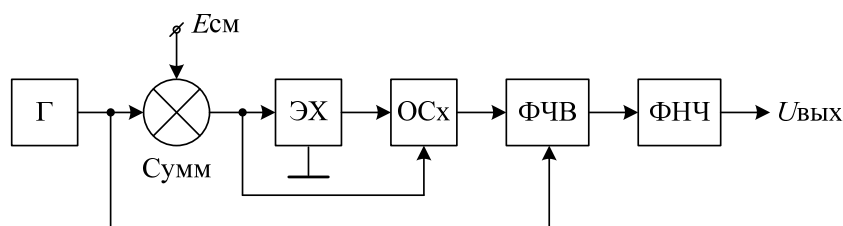


Рис. 1. Структурная схема измерительного преобразователя

Получили следующую формулу для выходного напряжения:

$$U_{\text{вых}} = 0,5SB(E_{\text{п1}} + E_{\text{п2}}).$$

Экспериментально показано, что температурный дрейф нулевого уровня ЭХ слабо зависит от напряжения их питания. Показано, что в разности выходных напряжений ЭХ при различных напряжениях питания температурный дрейф нулевого уровня значительно ослаблен.

Литература

1. Полищук, А. Некоторые применения линейных интегральных датчиков Холла компании Allgro Microsystems / А. Полищук // Компоненты и технологии. – 2006. – № 7. – С. 13–18.
2. Сысоева, С. Датчики Холла компании Micronas / С. Сысоева, Я. Бондарь // Компоненты и технологии. – 2013. – С. 19–24.
3. Романова, И. Магнитные датчики компаний NXP, HONEYWELL и MUPATA на российском рынке / И. Романова // Новости электроники. – 2012. – Вып. № 15. – Режим доступа: www.electronics.ru. – Дата доступа: 04.2016.

УДК 621.646.8:621.398

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ НАЗЕМНОГО УСТРОЙСТВА ПОИСКА ВНУТРИТРУБНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Ю. В. Крышнев¹, А. В. Мельников¹, А. Н. Козик², В. В. Воробьев²

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

²ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Республика Беларусь

Принцип построения разрабатываемой поисковой системы для внутритрубных технологических устройств нефтепровода изображен на рис. 1.

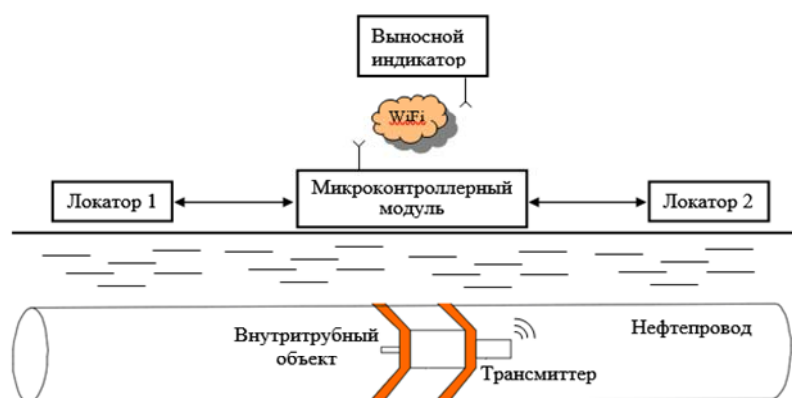


Рис. 1. Принцип построения поисковой системы для внутритрубных устройств нефтепровода

Особенностью устройства является использование двух разнесенных измерительных каналов с последующей обработкой измерительной информации. После фильтрации и масштабирования входные сигналы локаторов поступают в микроконтроллерный модуль. Структурная схема модуля приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема микропроцессорного модуля

Для оптимизации эксплуатационных характеристик устройства поиска внутритрубных объектов было разработано ПО микроконтроллера со следующими возможностями:

- автоматическая нормировка входных сигналов;
- режим осциллографа (непосредственный вывод входных сигналов на индикатор);
- режим с корреляционной обработкой сигналов (работа с M -последовательностями);
- режим с вычислением суммарно-разностной характеристики сигналов (режим повышенной точности обнаружения местоположения внутритрубного объекта);
- режим графического захвата полученных результатов;
- передача измеряемой информации на Android-клиент, используя сеть Wi-Fi.

УДК 621.38

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ рХ-МЕТР

Л. А. Захаренко¹, В. А. Карпов¹, Ю. Е. Котова¹,
В. М. Лукашов¹, А. В. Мельников¹, А. Г. Уваров²

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

²ОАО «Гомельский завод измерительных приборов»,
Республика Беларусь

Двухканальный промышленный рХ-метр П-215Д (далее – преобразователь) предназначен для работы с потенциометрическими чувствительными системами в промышленных условиях применения.

Преобразователь используется в составе анализаторов жидкости потенциометрических ГОСТ 27987–88 для непрерывных измерений в технологических водных растворах и пульпах, а также в системах автоматического контроля и регулирования параметров технологических процессов различных отраслей промышленности.

Конструктивно преобразователь состоит из двух блоков первичного преобразования (БПП1 и БПП2) и блока вторичного преобразования. Связь между блоками осуществляется по интерфейсу RS-485, который обеспечивает возможность установки БПП на значительном расстоянии от П215-Д (до 100 м). Блок вторичного преобразования преобразует информацию с БПП и выдает информацию в виде унифицированных выходных сигналов и отображением ее на графическом ЖК-дисплее (OLED). Визуальный отсчет измеряемой величины для каждого канала производится в цифровой форме в единицах рХ (рН), мВ.

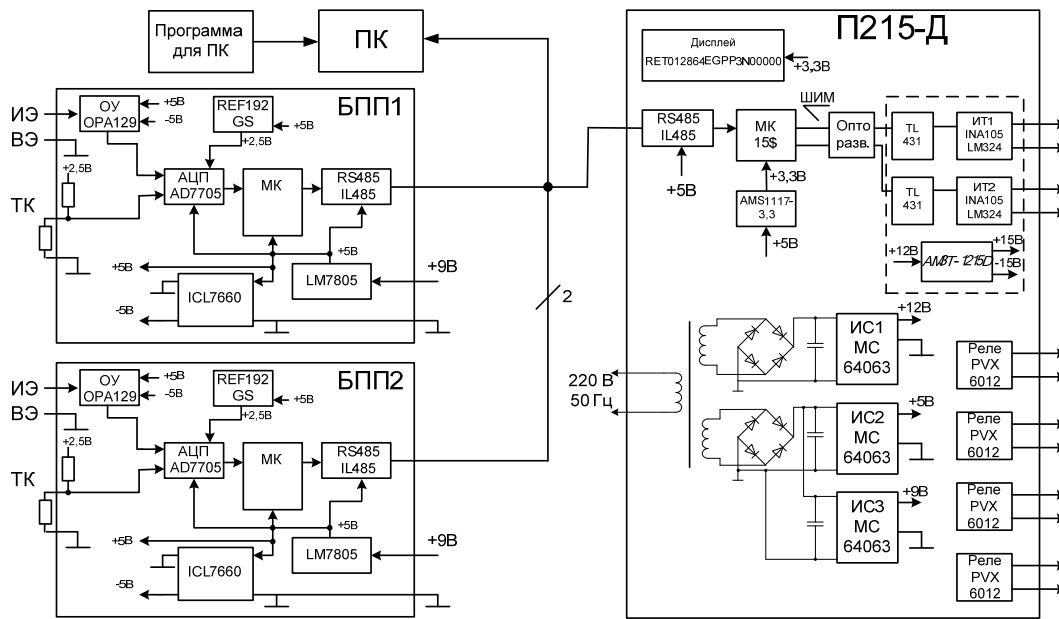


Рис. 1. Функциональная схема двухканального промышленного рХ-метра

Отличительными особенностями двухканального промышленного рХ-метра является высокая точность измерения E_x в диапазоне ± 2000 мВ, автоматическая настройка преобразователя на параметры электродной системы по буферным растворам, связь между блоками и с компьютером по интерфейсу RS-485, просмотр параметров электродной системы, на которые настроен преобразователь, и их изменение.

Л и т е р а т у р а

1. Кирасиров А. Ф. Измерительные цепи рН-метров / А. Ф. Кирасиров, В. А. Карпов. – Гомель : Сож, 1997. – 160 с.

УДК 621

**МНОГОКАНАЛЬНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР КАТОДНОГО ТОКА
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Л. А. Захаренко¹, В. М. Лукашов¹, А. В. Мельников¹,
С. М. Бодилковский², А. Н. Козик², С. Г. Купреев²**

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

² ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Республика Беларусь

Срок службы металлических конструкций в естественных условиях окружающей среды часто относительно короткий. Продлить его можно в основном четырьмя способами, которые широко используются в практике [1]. К ним относятся:

- 1) изоляция поверхности сооружения от контакта с внешней агрессивной средой;
- 2) использование коррозионно-стойких материалов;
- 3) воздействие на окружающую среду с целью снижения ее агрессивности;
- 4) применение электрозащиты подземных металлических сооружений.

Многоканальный стабилизатор-делитель катодного тока предназначен для электрохимической защиты подземных металлических сооружений (многониточных

трубопроводов, наружных оболочек кабелей и т. п.), в схемах совместной катодной защиты и должен обеспечивать одновременную защиту до трех подземных металлических сооружений от одного выпрямителя для катодной защиты путем распределения выходного тока выпрямителя на защищаемые сооружения и отдельного установления оптимального защитного тока для каждого из защищаемых сооружений.

Установки катодной защиты работают в условиях, изменяющихся во времени, которые могут обуславливаться воздействием блуждающих токов, изменением удельного сопротивления грунта или другими факторами, поэтому разработанное устройство обеспечивает автоматическое регулирование выходного тока в каждом канале.

Разработанное устройство обеспечивает возможность удаленного управления стабилизатором-делителем по Ethernet интерфейсу.

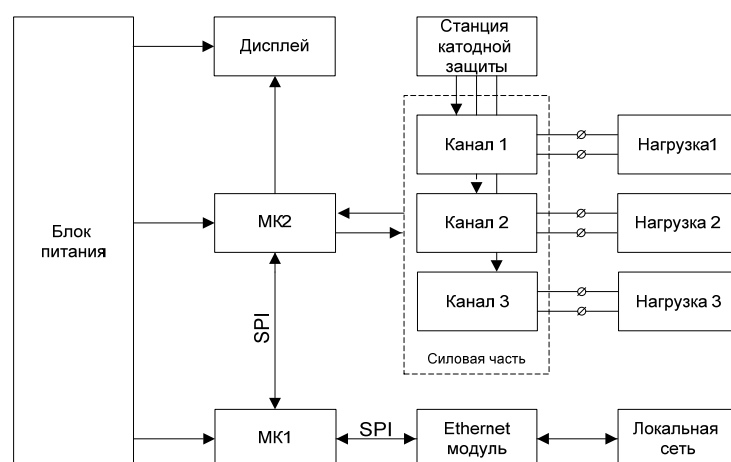


Рис. 1. Структурная схема устройства

В ходе выполнения работ был изготовлен многоканальный стабилизатор-делитель катодного тока. Он обеспечивает стабильный постоянный ток в каждой катодной группе, а также позволяет задавать токи катодов, как через клавиатуру самого прибора, так и удаленно по сети Ethernet.

Литература

1. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров : учеб. для вузов / М. В. Кузнецов [и др.]. – М. : Недра, 1992. – 238 с.

УДК 621.38

СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРОПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА

В. А. Черехун, А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов

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

В настоящее время, ручные регуляторы расхода мобильных гидравлических систем все чаще заменяются электронными системами управления. Это позволяет не только удаленно управлять работой гидрораспределителя, но и существенно повысить качество регулирования

Для того чтобы объединить гидроаппаратуру с электронной системой управления в единый комплекс, применяют гидрораспределители с электромагнитами [1]. В таких распределителях смещение якоря электромагнита приводит к пропорциональному изменению положения золотника регулятора расхода, тем самым регулируя потоки гидрожидкости в системе.

Значительное влияние на характеристику управления пропорциональной гидроаппаратуры оказывает используемая рабочая жидкость. Гидрожидкость обеспечивает связи между отдельными узлами конструкции гидроаппарата и выполняет ряд важных функций, таких как: смазывание трущихся поверхностей и отвод тепла, удаление продуктов износа и загрязнений, снижение уровня шума и вибрации агрегатов гидросистемы, антикоррозийная защита [2].

Одним из важных свойств гидравлической жидкости является зависимость ее вязкости от температуры. Экспериментально показано [3], что чем выше температура гидрожидкости, тем менее вязкой она становится, а это приводит к выходу из номинального режима работы некоторых узлов гидравлической системы, например гидронасоса и гидромотора.

Проведенные исследования влияния температуры рабочей жидкости гидросистемы на характеристику управления пропорциональной гидроаппаратуры при различных значениях управляющего тока пропорционального электромагнита показали, что в диапазоне изменения температур рабочей жидкости от -30 до $+80$ °С погрешность уставки заданного расхода жидкости в серийно выпускаемом гидрооборудовании может достигать 150 %.

По результатам исследования предложен способ компенсации влияния температуры рабочей жидкости на изменение расхода. Если систему управления дополнить датчиком температуры рабочей жидкости и осуществить корректировку сигнала управления регулятора расхода, согласно предложенному алгоритму это позволит снизить погрешность до уровня $\pm 3,5$ %.

Предложенный алгоритм, может быть реализован на микроконтроллере и встроен в систему управления гидрораспределителем.

Л и т е р а т у р а

1. Scholz, D. Proportional hydraulics / D. Scholz. – Copyright by Festo Didactic GmbH & Co. – Denkendorf, 2002. – 124 p.
2. Никитин, О. Ф. Рабочие жидкости гидроприводов. Классификация, свойства, рекомендации по выбору и применению / О. Ф. Никитин. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 151 с. : ил.
3. Васильченко, В. В. Особенности эксплуатации объемного гидропривода в условиях низких температур / В. В. Васильченко // Основные средства. – 2006. – № 2. – 110 с. : ил.

УДК 621.38

ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛЮМИНОФОРНОЙ ПОДСВЕТКИ

Д. А. Литвинов, А. В. Ковалев, В. А. Хананов

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

Для реализации подсветки приборных панелей наибольшее распространение получили светодиоды с различными вариантами рассеивания свечения. Применение светодиодов позволяет обеспечить высокую надежность, достаточно низкое энерго-

потребление и возможность плавной регулировки подсветки. Однако такой решение имеет и ряд недостатков. Светодиодная подсветка трудно реализуема (за приемлемую цену) для дешевых пленочных клавиатур, а также она не может быть использована в сверхтонких панелях управления. В таких случаях для подсветки клавиш управления можно использовать люминофорную подсветку.

Электролюминофорные панели предназначены для создания подсветки пленочных клавиатур, дисплеев, информационных табло и др. Такие панели отличаются гибкостью, низким энергопотреблением, стойкостью к воздействиям окружающей среды, высокой равномерностью засветки и практически не увеличивают толщину изделия.

Панель подсветки представляет собой плоский пленочный конденсатор с прозрачным электродом. Приложение переменного электрического поля к обкладкам конденсатора приводит к возникновению равномерного свечения слоя электролюминофора, размещенного внутри конденсатора. Основные технические характеристики электролюминофора:

- цвет свечения – синий, зеленый, желтый, белый;
- напряжение питания – 100–300 В при частоте 50–1000 Гц;
- потребляемая мощность – 300 мВт/дм²;
- тангенс угла диэлектрических потерь – 5,15 (79 град);
- яркость рабочего поля – 50–70 кд/м².

Для свечения панели необходимо переменное, обычно синусоидальное или прямоугольное напряжение, амплитудой 100–300 В и частотой 50–1000 Гц. Повышение напряжения и частоты приводит к росту яркости свечения, но уменьшает время работы панели. Применение высокой частоты (более 500 Гц) может вызвать также неравномерность свечения (снижение яркости в центральной части).

Для использования электролюминофорной подсветки в портативных и бортовых приборах с низковольтным постоянным источником питания необходимо применение преобразователя питания. Так, для реализации ночной подсветки в бортовом блоке управления универсальной дорожной машины БУГ–4М с пленочной клавиатурой предложено использовать импульсный преобразователь напряжения, построенный на базе интегральной микросхемы HV809SG–G. Функционально преобразователь состоит из задающего генератора с частотой 400 Гц, повышающего преобразователя и стабилизатора двуполярного напряжения.

Основные электрические характеристики разработанного преобразователя:

- входное напряжение питания – 22–30 В;
- выходное напряжение – 120–200 В (ампл.) при частоте 400 Гц;
- КПД не менее 90 %.

СЕКЦИЯ V. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА

А. В. Дробов, В. Н. Галушко

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

Целью является оптимальное размещение единичного источника питания на территории некоторого промышленного объекта и транспортных потребителей. В содержательном плане данная постановка задачи также опосредовано учитывает ограничения генерального плана на выбор местоположения ИП: указывается избыточное число мест возможного размещения ИП (эти точки ищутся на генплане объекта проектирования с учетом площади, отводимой под установку ИП), число таких мест может быть достаточно большим, как правило, эти точки должны покрывать всю площадь проектируемого объекта. Эта, более общая, задача состоит из следующего ряда подзадач:

- выбор типоразмеров источников питания из предложенного типового ряда;
- выбор местоположения отдельных источников питания;
- рациональное закрепление потребителей электрической мощности за источниками питания.

Основным предметом рассмотрения настоящего исследования будет формализация задачи оптимального размещения источников питания в распределительной электрической сети и решение этой задачи методами случайного поиска.

Случайный поиск включает методы решения оптимизационных задач, которые не требуют знаний о направлении наибольшего убывания (возрастания) целевой функции. Применяемые алгоритмы позволяют решать оптимизационные задачи с недифференцируемыми, стохастическими и прерывистыми целевыми функциями.

Исходными данными для расчета являются: карта-схема расположения потребителей; координаты точек расположения потребителей; нагрузки и категории потребителей по степени бесперебойности электроснабжения; графики нагрузок потребителей; сведения об источнике питания.

По критерию минимальной суммарной длины трасс ЛЭП с учетом ограничения места на установку источника питания целевая функция будет иметь вид:

$$L = \sum_{i=1}^n l_k, \quad (1)$$

где L – сумма длины дуг сети; l_k – длина дуги k , выходящей из точки i и приходящей в точку j ; n – число дуг.

Необходимо с помощью метода Монте-Карло найти такое положение источника питания, при котором суммарная длина трасс линий электропередач от источника питания до потребителей имела минимальную длину.

Предложен и теоретически обоснован алгоритм решения задачи об оптимальном размещении единичного источника питания с учетом произвольных ограничений на местности.

Также следует подчеркнуть, что рассмотренный алгоритм случайного поиска для решения задачи оптимального размещения источников питания в системах электроснабжения промышленных объектов имеет максимальную адаптацию к специфике решаемой задачи, при этом разработаны следующие составные части и процедуры.

Несмотря на произвольность выбора пробной точки, алгоритм случайного поиска позволяет последовательно приближаться к экстремальной области.

УДК 621.31

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

А. В. Дробов, В. Н. Галушко

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

Проблема оптимизации сложных систем, к которой сводятся многие социально-экономические, технические, организационно-управленческие, комбинаторные задачи и задачи теории игр, становится одной из ведущих в мире искусственного интеллекта.

Управление режимами систем нетягового электроснабжения должно обеспечивать достижение следующих целей:

- бесперебойное электроснабжение при соблюдении отраслевых и общеэнергетических норм по качеству электроэнергии (ЭЭ);
- нормативное качество ЭЭ на шинах питающего напряжения в сетях районов электроснабжения нетяговых потребителей;
- минимально возможный уровень потерь электрической энергии.

Достижение указанных целей невозможно без применения современных информационных технологий, что, в свою очередь, требует создания эффективных математических моделей и методов.

На основании этих данных последовательно в различных модулях программного обеспечения определяются:

- 1) исходные данные для расчета;
- 2) предварительный выбор вариантов схемы сети и конфигурации распределительной сети 6–20 кВ;
- 3) технико-экономическое сравнение вариантов;
- 4) расчет потерь напряжения и других параметров функционирования системы электроснабжения (СЭС);
- 5) расчетные затраты на спроектированную систему электроснабжения;
- 6) параметры надежности всей СЭС и отдельных участков.

Каждому варианту сгенерированной СЭС, включающей случайный розыгрыш связей между ТП и мощностей трансформаторов, удовлетворяющих вышеперечисленным условиям, в дальнейшем присваивают номер. Затем определяем издержки на эксплуатацию, включающие амортизационные отчисления, затраты на обслужива-

ние и стоимость потерь электроэнергии; обобщенный показатель надежности СЭС, оценку влияния показателей качества электроэнергии (напряжение, несимметрия, несинусоидальность) на работу нетяговых железнодорожных потребителей.

В результате программное обеспечение моделирования системы электроснабжения позволяет выбрать наиболее экономичный и надежный вариант и рассчитать основные параметры системы электроснабжения железнодорожного предприятия.

Практическое применение программного обеспечения заключается в оптимизации технических решений при проектировании и эксплуатации сложных электрических систем.

УДК 621.321

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СВЕТОДИОДНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

**Ю. В. Трофимов¹, О. Г. Пенязьков², В. В. Докторов¹, К. И. Делендик²,
С. И. Лишик¹, П. П. Першукевич¹, А. Г. Ефименко¹**

*¹РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий
Национальной академии наук Беларуси», г. Минск*

*²Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена
имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси», г. Минск*

Светодиодные источники света являются гораздо более экономичными, долговечными и экологически безопасными, чем натриевые, ртутные лампы и лампы накаливания. Одной из проблем при разработке и создании мощных (200–300 Вт) светодиодных светильников является отведение тепла от светодиодных матриц. В данной работе представлены результаты разработки светодиодного светильника мощностью 300 Вт с теплоотводом на основе тепловых труб. Внешний вид светильника приведен на рис. 1.



Рис. 1

Результаты испытаний показали, что за счет применения тепловых труб с низким тепловым сопротивлением (около 0,1 К/Вт) обеспечено отведение тепла со светодиодных матриц с общим тепловыделением 160 Вт. При этом температура светодиодных кристаллов составила 68 °С при температуре окружающей среды 20 °С. Так как согласно спецификации на светодиоды максимально допустимая температура кристаллов составляет 140 °С, то данные светильники могут использоваться для промышленного освещения в цехах с высокой температурой. По результатам экспериментов было установлено, что светильники сохраняют свою работоспособность при температуре окружающей среды до 50 °С.

Исследование светотехнических характеристик в аккредитованной испытательной лаборатории Государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси» показало, что световой поток данного светильника составляет около 37800 лм, что в ряде случаев позволяет его использовать как замену светильника на основе лампы ДРЛ-700. При этом экономия установленной электрической мощности на одном светильнике составит $700 - 300 = 400$ Вт. Разработанный светильник характеризуется высокой световой эффективностью – не менее 120 лм/Вт, и сроком службы – свыше 50000 часов (примерно в 2,5 раза больше, чем у лампы ДРЛ-700).

Светодиодные светильники были установлены и успешно эксплуатируются более одного года на Мозырской ТЭЦ в качестве замены ламп ДРЛ-700.

УДК 621.319.1

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ БЕСКОНЕЧНО ДЛИННЫХ ПРОВОДОВ ИТЕРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В. С. Могила¹, Д. В. Комнатный²

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

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

При проектировании систем электроснабжения часто возникает задача расчета характеристик электростатического поля в системе нескольких бесконечно длинных проводов круглого сечения, расположенных над бесконечной проводящей плоскостью. Потенциалы этих проводов являются заданными. Требуется вычислить линейные плотности электростатических зарядов проводов. Решение этой задачи базируется на использовании первой группы формул Максвелла:

$$[\alpha][\tau] = [\varphi], \quad (1)$$

где $[\alpha]$ – прямоугольная матрица потенциальных коэффициентов, м/Ф; $[\tau]$ – матрица-столбец неизвестных линейных плотностей зарядов электродов, Кл/м; $[\varphi]$ – матрица-столбец известных потенциалов электродов, В.

В данном случае первая группа формул Максвелла представляет собой систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных линейных плотностей зарядов проводов. Для решения этой системы необходимо найти матрицу емкостных коэффициентов $[\beta]$, обратную матрице коэффициентов системы $[\alpha]$, что является сложной математической задачей. Ограничиваясь вычислением достаточно грубой приближенной матрицы $[\beta]$, решение (1) можно получить итерационным методом вида:

$$[\tau]^{k+1} = [\tau]^k + \omega[\beta]([\varphi] - [\alpha][\tau]^k), \quad (2)$$

где k – номер итерации; ω – параметр итерационного процесса.

Рассчитать приближенные значения емкостных коэффициентов можно на основе вариационных оценок для частичных емкостей в рассматриваемой электростатической системе, полученных В. П. Казанцевым и Е. А. Лысенко с помощью теоремы о минимуме энергии электростатического поля:

$$C^{-1} < S; \quad S_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2d_i}{r_i}; \quad S_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{\sqrt{L_{ij}^2 + d_i d_j}}{L_{ij}}, \quad (3)$$

где C – частичная емкость, Ф/м; ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м; i, j – номера проводов; d – высота провода над землей, м; r – радиус провода, м; L – расстояние между проводами, м.

Тогда, принимая, что $C \approx 1/S$ емкостные коэффициенты могут быть определены по известным формулам, связывающим их с частичными емкостями.

Авторами был выполнен расчет линейной плотности электростатических зарядов проводов радиуса 0,004 м, расположенных на сторонах квадрата стороной 0,12 м, нижняя сторона которого отстоит от бесконечной проводящей плоскости на 2 м. Потенциал каждого провода составил 1 В. После 15 итераций получены значения линейной плотности зарядов, при которых среднеквадратичное отклонение расчетного и заданного потенциалов проводов составило 10^{-4} . Значение расчетного потенциала монотонно стремится к заданному. Рассмотренный в докладе метод отличается несложным математическим аппаратом и легко реализуется на компьютере.

УДК 621.316.9

РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ЦЕПЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Д. В. Комнатный

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

Одной из моделей для анализа процессов в электроэнергетическом оборудовании являются цепи с распределенными параметрами (так называемые длинные линии). Зачастую пренебречь каким-либо первичным параметром линии для упрощения уравнений не представляется возможным. Поэтому математическое описание этих моделей дается уравнениями в частных производных, которые традиционно называют телеграфными уравнениями или уравнениями телеграфистов.

Решение этих уравнений осложнено двумя обстоятельствами. Во-первых, получение решения при непериодических воздействиях аналитическими методами описано недостаточно. Во-вторых, при постановке задачи требуется сформулировать граничные условия. Для реальных нагрузок выражения граничных условий получаются более сложными, чем принятые в теории дифференциальных уравнений с частными производными. Следовательно, решение задачи значительно усложняется. Тем не менее можно указать две часто встречающиеся задачи из области защиты энергетического оборудования, которые сводятся к решению телеграфного уравнения. При этом граничные и начальные условия весьма просты и для полученной задачи математической физики известно общее аналитическое решение.

Задача первая. На обмотку электроэнергетической установки падает импульс перенапряжения из внешней линии. Второй конец обмотки заземлен. В этом случае начальные условия нулевые, на одной из границ задачи задан вид импульса перенапряжения, на втором – нулевое граничное условие.

Задача вторая. В достаточно протяженном в длину и глубину однородном слое земли находится заземлитель в виде протяженной шины. В некоторой точке за-

землителя к нему подводится импульс тока. С концов заземлителя ток стекает в землю. В данном случае начальные и граничные условия для неоднородного уравнения нулевые.

Такие задачи математической физики, согласно справочнику А. Д. Полянина, имеют общее аналитическое решение для произвольных начальных и граничных условий, которое достаточно просто преобразуется для рассмотрения воздействия импульсов заданной временной формы на указанные технические системы. Полученные аналитические решения имеют форму бесконечных рядов, поэтому не представляет трудностей разработка алгоритмов программных средств для получения численных результатов. Такие алгоритмы могут быть реализованы в той или иной современной математической программе с малыми затратами средств и времени. Особенно примечательна возможность расчета электромагнитных процессов в заземлителе с учетом всех его первичных параметров, так как до настоящего времени такая задача решалась только при существенных упрощениях формы импульса и пренебрегая одним из первичных параметров.

Таким образом, отмеченные аналитические решения телеграфных уравнений при импульсных воздействиях на цепь с распределенными параметрами, являющуюся моделью электроэнергетического оборудования, позволяют получить простые средства компьютерного анализа задач защиты этого оборудования от аварийных режимов и перенапряжений. Обеспечение безаварийной работы такого оборудования в настоящее время остается актуальной практической проблемой.

УДК 621.313.1

РАБОТА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

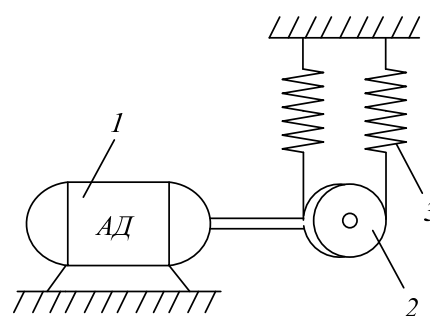
И. В. Шашков, Ю. А. Рудченко

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

Эффективность применения безредукторного электропривода возвратно-вращательного (колебательного) движения с мягким реверсом обусловлена тем, что он позволяет не только уменьшить металлоемкость и исключить электромеханические удары в рабочей машине, но и облегчить интеграцию привода с рабочим инструментом, повысить динамические и энергетические показатели, а значит, в целом повысить производительность рабочей машины и качество выпускаемой продукции. Данный вид электропривода можно создать на базе общепромышленного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, работающего в автоколебательном режиме.

Для изучения особенностей работы трехфазного асинхронного электродвигателя в автоколебательном режиме на кафедре «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого создан стенд для проведения экспериментов (рис. 1).

Конструкция стенда включает трехфазный асинхронный электродвигатель, закрепленный на станине. На вал двигателя насажен шкив. Пружины растяжения одним концом крепятся к неподвижному основанию, а вторым концом через гибкий металлический трос – к шкиву.



а)

б)

Рис. 1. Стенд для испытания асинхронного двигателя в автоколебательном режиме:

а – фото стенда; б – функциональная схема экспериментальной установки:

1 – асинхронный электродвигатель; 2 – шкив; 3 – пружина

В результате проведенных экспериментов были получены зависимости параметров колебательного движения (амплитуда и частота колебаний) от параметров электропитания (напряжения на обмотках двигателя) и нагрузки (жесткости пружин), а также энергетические параметры работы трехфазного асинхронного электродвигателя в автоколебательном режиме (потребляемую из сети активную мощность, КПД, значение силы тока и т. д.).

УДК 62-83-52

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ БЕЗРЕДУКТОРНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев, А. С. Зайцев

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

Существующие способы создания колебательного (возвратно-поступательного) движения асинхронного электродвигателя и реализованные на их основе электроприводы [1] имеют низкие энергетические показатели.

Коэффициент полезного действия для большинства способов создания колебательного движения находится в пределах 0,2–0,3, достигая 0,4–0,5 в режиме колебательного движения при механическом резонансе и круговом качающемся электромагнитном поле статора [2]. Объясняется это тем, что при нерезонансном режиме в колебательном движении ротора присутствует участок торможения противовключением (φ_k), а при эллиптическом качающемся электромагнитном поле обратная составляющая уменьшает электромагнитный вращающий момент двигателя и создает дополнительные потери мощности. Имеется еще одна причина низкого КПД – высокое значение скольжения. Это, соответственно, вызывает значительные потери мощности в меди двигателя. Так, если в режиме механического резонанса, угловая частота вращения ротора достигает синхронной

$$\omega_p = \omega_{p\max} \sin \Omega t, \quad \Omega = 2\pi f_k,$$

где $\omega_{p_{\max}} = \omega_1$, $\omega_1 = 2\pi f_1 / p$ – синхронная угловая частота; f_k частота колебаний вала, то среднее за полупериод колебаний скольжение равно 0,636, а при наличии механического фазового сдвига φ_k может быть близко к 1.

Предлагаются два новых способа создания колебательного движения асинхронного электродвигателя, отличающегося тем, что средним скольжением можно управлять, задавая его равным номинальному $S_{\text{cp}} = S_{\text{ном}}$, или равным оптимальному расчетному для конкретного режима колебательного двигателя:

1. Колебательный режим с импульсным питанием. Это режим механического резонанса с круговым качающимся электромагнитным полем статора, подпитка механического колебательного контура активной энергией осуществляется при $S_{\text{cp}} = S_{\text{ном}}$, либо $S_{\text{cp}} = S_{\text{опт}}$.

2. Колебательный режим с частотно-регулируемым электроприводом при постоянном скольжении $S = S_{\text{ном}}$ или $S = S_{\text{опт}}$. В этом случае синхронная угловая частота изменяется пропорционально угловой частоте вращения ротора.

Разработаны схемы электроприводов на базе предлагаемых способов, определены их основные технические характеристики.

Л и т е р а т у р а

1. Грачев, С. А. Безредукторный электромашинный привод периодического движения / С. А. Грачев, В. И. Луковников. – Минск : Выш. шк., 1991. – 160 с.
2. Тодарев, В. В. Характеристика двигателей серии 4А в колебательном режиме работы / В. В. Тодарев // Задачи динамики электрических машин. – Омск, 1987. – С. 69–72.

УДК 62-83-52

УСТРОЙСТВО НАГРУЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЬ

М. Н. Погуляев, В. В. Тодарев, А. А. Смахтин

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

Для поддержания высокой степени готовности к работе резервных электрогенераторов (РЭГ), находящихся в холодном резерве, необходимо периодически проводить регламентные испытания под нагрузкой. Требования к проведению таких испытаний определяются соответствующими ГОСТами и техническими условиями эксплуатации РЭГ. На практике испытания под нагрузкой в настоящее время проводятся, в основном, двумя способами [1]–[3]:

- нагружение через параллельную работу РЭГ с сетью;
- нагружение РЭГ на специальное нагрузочное устройство.

Прямое подключение генератора к сети хотя и обеспечивает энергосберегающий режим работы, но с точки зрения диагностики не всегда эффективно, поскольку в этом случае можно получить только статические U-образные и угловые характеристики и по ним лишь косвенно оценивать работу систем управления и функционирование элементов резервного электрогенератора. При этом для получения U-образных характеристик необходимо вмешательство в систему управления генератора и приводного двигателя, что не всегда возможно (многие производители не допускают такое вмешательство). Кроме того, сеть, в сравнении с испытываемым генератором, является источником большой мощности с постоянными параметрами напряжения

и частоты. В этом случае указанные параметры генератора также будут неизменны, что не позволяет оценить качество функционирования систем стабилизации в динамических режимах.

Во втором случае к выходу РЭГ подключается нагрузочное устройство модульного типа с набором резистивных и реактивных элементов, выполненных на определенную мощность. Данные нагрузочные устройства являются энергозатратными. Вся выработанная в процессе испытания активная энергия преобразуется в тепло на резисторах и рассеивается в окружающем пространстве, что при постоянном росте цен на энергоресурсы становится острой проблемой.

Таким образом, перечисленные виды нагружения РЭГ имеют серьезные недостатки и в связи с этим требуется поиск новых решений в этом направлении.

В докладе рассматривается способ нагружения резервных электрогенераторов с помощью устройства (стенда), выполненного на основе вентильного каскада. В состав стенда входит мостовой преобразователь, подключенный к обмоткам статора синхронного генератора, и ведомый инвертор, подключенный к сети. Такое устройство способно создавать статическую и динамическую нагрузку для испытуемого агрегата и при этом позволяет осуществить рекуперацию энергии, вырабатываемой электрогенератором в сеть.

Литература

1. Брускин, Д. Э. Электрические машины и микромашины : учеб. для электротехн. специальностей вузов / Д. Э. Брускин, А. Е. Зохорович, В. С. Хвостов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 528 с.
2. Штерн, В. И. Дизель-генераторы переменного тока напряжение до 400 В / В. И. Штерн, А. А. Самойлов. – М. : Энергия, 1972. – 104 с.
3. Об испытаниях электроагрегатов по энергосберегающей технологии / В. Н. Алябьев [и др.] / Курский политехн. ин-т. – Курск, 1995. – С. 5. – Деп. в ВИНТИ № 691 В-95.

УДК 621.577

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗДАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Д. С. Трошев, А. В. Овсянник

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

Энергосистема Республики Беларусь имеет пики потребления электроэнергии в дневное время, при этом в ночное время наблюдается провал электропотребления. Выравнивание графика электронагрузок является одним из приоритетных направлений в области повышения эффективности функционирования энергосистемы. С вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС возникнет необходимость загрузить ее по мощности в периоды провала электропотребления. Одним из направлений по загрузке АЭС в период минимума нагрузок является переход на электрообогрев в ночное время. Однако применение обычных электронагревателей с точки зрения энергоэффективности не является лучшим решением. Гораздо экономичнее использовать для выработки тепловой энергии тепловые насосы, которые на затраченные 1 кВт · ч электрической энергии вырабатывают в зависимости от разницы температур от 2 до 5 кВт · ч тепловой энергии.

Для снижения затрат энергии на обогрев зданий, а также для загрузки энергосистемы в часы минимума энергопотребления предлагается устанавливать в качестве источника индивидуального теплоснабжения тепловой насос, максимальная выработка тепловой энергии которого будет происходить в ночное время, а в часы максимума электрических нагрузок снижать его выработку до минимума за счет того, что здание накапливает тепловую энергию, что позволит поддерживать комфортную температуру в помещении при снижении выработки тепловой энергии.

Эффективность теплового насоса определяется коэффициентом преобразования, который можно представить в общем виде функцией:

$$\mu = f(t_{\text{х.ист}}, t_{\text{г.ист}}, \text{тип хладагента}, \eta_{\text{т.н}}), \quad (1)$$

где $t_{\text{х.ист}}, t_{\text{г.ист}}$ – температуры «холодного» и «горячего» источников теплоты, °С (при использовании теплового насоса грунтового типа температуру «холодного» источника можно принимать на уровне 5 °С, температура «горячего» равняется температуре в подающем трубопроводе согласно температурному графику); $\eta_{\text{т.н}}$ – КПД теплового насоса (приблизительно можно принять равным КПД компрессора).

При переменном графике работы теплового насоса тепловой режим здания является нестационарным. При этом соблюдается условие равенства теплопотерь снижению теплосодержания здания плюс теплопритокам:

$$Q_{\text{тп}} = \Delta Q_{\text{т/с}} + \Delta Q_{\text{т/пр}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{тп}}, Q_{\text{т/пр}}$ – теплопотери и теплопритоки здания, кВт; $\Delta Q_{\text{т/с}}$ – снижение теплосодержания здания в секунду, кВт.

За определенный промежуток времени при условии, что тепловыделения осуществляются только от теплоисточника и без учета внутренней обстановки здания формула (2) может быть записана в следующем виде:

$$(\sum k_i \cdot F_i (t_{\text{вн}}^{\text{ср}} - t_{\text{нар}}^{\text{ср}}) - c_{\text{в}} G (t_{\text{под}} - t_{\text{обр}})) \Delta \tau = \sum c_i \cdot m_i (t_i^{\text{нач}} - t_i^{\text{кон}}), \quad (3)$$

где k – коэффициент теплопередачи i -го слоя ограждающей конструкции, Вт/(м² · °С); F_i – площадь i -го слоя ограждающей конструкции, м²; $t_{\text{вн}}^{\text{ср}}, t_{\text{нар}}^{\text{ср}}$ – средние температуры внутри помещения и наружного воздуха, °С; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, Дж/(кг · °С); G – расход теплоносителя, кг/с; $t_{\text{под}}, t_{\text{обр}}$ – температура воды в подающем и обратном трубопроводах, °С; $\Delta \tau$ – промежуток времени, с; c_i – теплоемкость i -й стены, Дж/(кг · °С); m_i – масса i -й стены, кг; $t_i^{\text{нач}}, t_i^{\text{кон}}$ – температура i -й стены в начальный и конечный момент времени, °С.

Решая уравнение (3) совместно для пикового, полупикового и ночного промежутков времени тарифирования стоимости электроэнергии с учетом требований по температуре внутри помещения, температуре ограждающих конструкций можно оптимизировать график работы теплового насоса по минимуму затрат на электроэнергию, что позволит увеличить экономический эффект от внедрения тепловых насосов.

УДК 621.311.077

СИСТЕМА ШАРИКОВОЙ ОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРА ТУРБИНЫ Т-180/210-130 – МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Н. В. Широглазова, О. Ю. Морозова

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

Цель исследования: рассмотреть проблемы эксплуатации конденсаторов паровых турбин, а также методы их очистки от отложений и подбор наиболее эффективного метода.

Основной причиной ухудшения вакуума в конденсаторах паровых турбин является загрязнение трубок с водяной стороны. В зависимости от характера и состава отложений, качества охлаждающей воды на отечественных электростанциях применяются различные способы очистки конденсаторных трубок: термическая и вакуумная сушки, кислотные промывки и др.

Но все применяемые методы очистки являются периодическими средствами борьбы с отложениями, требуют останова или разгрузки турбины и обуславливают работу оборудования с постоянно загрязняемой между чистками поверхностью охлаждения конденсаторов, т. е. с пониженной экономичностью работы оборудования.



Рис. 1. Принципиальная схема системы шариковой очистки конденсатора

Разработанный способ очистки конденсаторных трубок с помощью эластичных шариков из губчатой резины широко применяется в мировой энергетике. Применение мягкого шарика, диаметр которого на 1–2 мм больше внутреннего диаметра трубки, позволяет удалить с ее поверхности все виды вновь образующихся и недостаточно закрепленных отложений и поддерживать исходную чистоту трубки.

Установка очистки конденсаторов шариками из пористой резины, являясь профилактическим экологически чистым средством поддержания в чистоте охлаждающей поверхности трубных систем конденсатора, позволяет: снизить фактическое гидросопротивление системы циркуляционного водоснабжения; снизить давление пара в конденсаторе турбины; снизить ограничение максимальной электрической мощности турбоагрегата из-за ухудшения вакуума в конденсаторе; сократить затра-

ты на ремонт конденсаторов в период плановых остановов; повысить надежность блока.

На сегодняшний день система шариковой очистки (СШО) является самым эффективным способом борьбы с отложениями в трубках конденсатора. Использование СШО исключает недостатки химических и механических методов очистки, что приведет к увеличению срока службы конденсаторных трубок и повышению надежности работы оборудования паровых турбин. Суммарная экономия топлива составляет 3000 т у. т. Срок окупаемости мероприятия – 5,0 лет.

Л и т е р а т у р а

1. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Создание и эффективность автоматической системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбины Т-180/210-130-1 ЛМЗ / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, А. Ю. Наумов, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2014. – № 3. – С. 75–83.
2. Наладка системы шариковой очистки конденсатора К-300-240 ЛМЗ блока № 1 Лукомльской ГРЭС. Технический отчет. – Союзэнерго, 1990. – 68 с.

УДК 621.745

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВАГРАНОЧНОЙ ПЛАВКЕ

Л. Е. Ровин, Л. Н. Русая, О. В. Герасимова

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

Современные ваграночные установки включают помимо собственно плавильного агрегата развитую периферию, содержащую системы подогрева дутья, набора и загрузки шихты, очистки и рекуперации тепла отходящих газов, охлаждения корпуса, развитую систему КИП и компьютерного управления.

Подогрев дутья за счет тепла отходящих газов является наиболее эффективным средством повышения экономических, экологических и металлургических характеристик ваграночной плавки. При прочих равных условиях на каждые 100 °С подогрева дутья температура металла практически увеличивается на 25–30 °С. Повышение температуры металла и шлака способствует улучшению качества выплавляемого чугуна и снижению брака отливок. Кроме того, улучшаются эксплуатационные характеристики вагранки. За счет подогрева дутья обеспечивается экономия кокса: при подогреве на каждые 100 °С сокращение расхода кокса составляет 6–8 % от веса металлизавалки.

Подогрев дутья предполагает интенсивное сжигание оксида углерода (СО), что приводит к резкому сокращению выбросов СО в атмосферу, соответственно, уменьшается плата за выбросы.

В настоящее время подавляющая часть вагранок в технически развитых странах работает на горячем дутье с температурой 500 °С и более. При этом расход кокса снижается на 30–35 %. Подобный нагрев осуществляется в комбинированных двухступенчатых рекуператорах или воздухоподогревателях, работающих на природном газе. Высокотемпературный нагрев в рекуператорах возможен при условии предварительной тонкой очистки ваграночных газов. Нагрев дутья до (300–350) °С технически значительно проще и может использоваться в вагранках открытого типа. Расход кокса в этом случае снижается на 20–25 % от исходного. Наиболее эффективным и надежным в эксплуатации являются радиационные щелевые рекуператоры, устанавливаемые непосредственно в трубе вагранки выше завалочного окна.

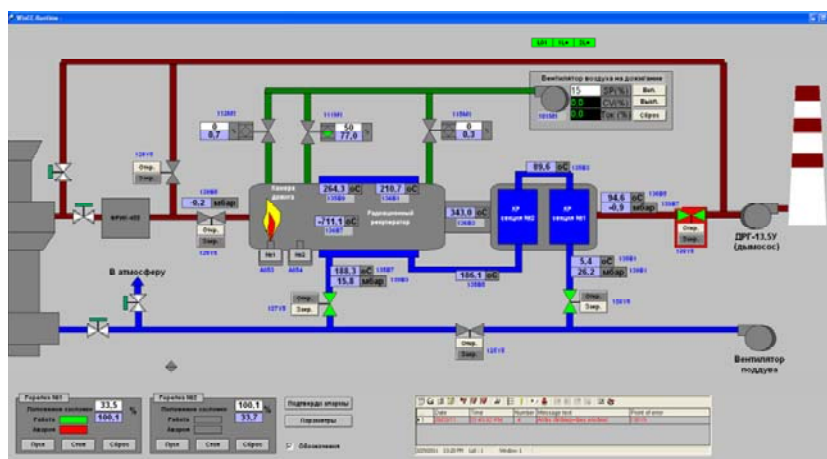


Рис. 1. Схема высокотемпературного рекуператора для вагранки закрытого типа

Разработанный сотрудниками УП «Технолит» (г. Минск) и ГГТУ им. Сухого рекуператор для вагранок ОАО «Изотерм» (Казахстан) обеспечил нагрев до 640 °С, что выше аналогов.

УДК 621.74

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ РЕЦИКЛИНГ ДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛООТХОДОВ

С. Л. Ровин

Унитарное предприятие «Технолит», г. Минск, Республика Беларусь

По ориентировочным оценкам вновь образующиеся металлоотходы в Беларуси составляют 450–550 тыс. т в год. Из них стальной и чугунной стружки образуется 220–240 тыс. т, окалины – около 40–50 тыс. т, шлама – до 40 тыс. т и т. д. В отвалах страны на сегодняшний день накоплено не менее 8–10 млн т различных, в основном окисленных дисперсных металлоотходов.

При централизованной переработке такого неоднородного сырья требуется создание соответствующей развитой логистической системы, применение крупнотоннажного технологического оборудования, организация широкой сети сбора, транспортировки, сортировки и подготовки отходов. Все это приводит к большим временным и капитальным затратам.

Возможны два основных направления в решении этой проблемы: 1) дальнейшая разработка способов предварительной подготовки низкосортного сырья перед загрузкой в традиционные плавильные печи; 2) создание гибкого универсального рециклинга на базе принципиально новой технологии и плавильных агрегатов, адаптированных к переработке подобных материалов без их предварительной подготовки.

Таковыми печами являются ротационные наклоняющиеся печи (РНП), в которых ось вращения находится под углом к горизонту и реализовано петлеобразное (возвратно-поступательное) движение газов в рабочем пространстве. К их разработке первыми в СНГ подключились с начала века и белорусские литейщики.

В результате возникла реальная возможность реализации положительных эффектов, обеспечиваемых пористыми дисперсными материалами, и создания рентабельного процесса рециклинга непосредственно на предприятиях-источниках отходов.

В настоящее время в стране организовано производство свинца из отходов и шламов, полностью удовлетворяющее потребности, переплавка отходов алюминиевых сплавов, разработана технология и оборудование для переплавки стружки дуплекс-процессом (РНП-ИЧТ), отработан принципиально новый процесс непрерывного восстановления оксидных железосодержащих отходов в одном агрегате (РНП) без перегрузок с получением чугуна или стали для производства марочных сплавов.

УДК 621.745

ТВЕРДОЖИДКОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДНЫХ МЕТАЛЛООТХОДОВ

С. Л. Ровин¹, Т. М. Заяц²

¹Унитарное предприятие «Технолит», г. Минск, Республика Беларусь

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

В отвалах страны на сегодняшний день накоплено не менее 8–10 млн т различных, в основном окисленных дисперсных металлоотходов. Из них более 90 % составляют отходы черных металлов. Примерно такая же ситуация складывается и в соседних странах.

Оксидные и многокомпонентные железосодержащие отходы при рециклинге должны восстанавливаться, подобно тому как восстанавливаются рудные материалы. Традиционные технологии, применяемые в черной металлургии, предполагают унификацию характеристик исходных материалов (сырья), агломерацию или окатывание, подогрев и т. п. Металлургические комплексы включают соответствующую периферию по транспортировке, хранению, логистику и т. д. Стоимость таких комплексов оценивается в сотни миллионов и даже миллиарды долларов. Второй путь – разработка агрегатов и способов, приспособленных для работы на дисперсных шихтовых материалах.

Развитая реакционная поверхность, большое количество дефектов структуры, пористость (в первую очередь открытая) дисперсных железосодержащих отходов позволяет достаточно быстро добиться высокой степени металлизации (до 70–80 %) в твердой фазе.

Для достижения качества плотных первичных шихтовых материалов (чушки) требуется переплав полученного на стадии твердофазного восстановления продукта (гранул губчатого железа) и доводка его в жидком состоянии (довосстановление, отделение примесей и т. д.).

Ротационная наклоняющаяся печь по сути является единственным плавильным агрегатом, который благодаря высокой технологической мобильности позволяет осуществить процесс восстановления в наиболее энергетически выгодном режиме: вначале при ТФВ устанавливается температура 1000–1200 °С, а после достижения уровня металлизации 60–80 % без перегрузки и охлаждения материала печь переводится в режим ЖФВ при 1450–1850 °С. Таким образом, весь процесс восстановления осуществляется в наиболее выгодном термодинамическом режиме. Экспериментальные плавки показали, что при оптимальных температурных и газовых режимах непрерывный процесс твердожидкофазного восстановления, реализуемый в РНП, обеспечивает выход металла, близкий к теоретически возможному (до 90 % от Fe_{общ}).

УДК 621.316

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОКОВ ТРЕХФАЗНОГО КОСИНУСНОГО СИЛОВОГО КОНДЕНСАТОРА

Д. И. Зализный

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

Косинусные силовые конденсаторы являются наиболее распространенным средством компенсации реактивной мощности в электрических сетях. Очевидно, что они являются также и электроприемниками, влияющими на форму тока в линиях электропередачи. В ряду литературных источников имеются сведения, что косинусные конденсаторы – это нелинейная нагрузка.

Цель данных исследований – анализ гармонического состава токов, потребляемых косинусными силовыми конденсаторами и выработка рекомендаций по учету этого фактора при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

На кафедре «Электроснабжение» были проведены экспериментальные исследования на основе трехфазного конденсатора TGL-200-8264, предназначенного для подключения к электрическим сетям с номинальным напряжением 380 В. Основные параметры этого конденсатора: схема соединения «треугольник», номинальная реактивная мощность 10 кВАР, суммарная емкость 220 мкФ, номинальный линейный ток одной фазы 15,3 А.

Рассмотрим схему эксперимента. Конденсатор был подключен к трехфазной сети через автоматический выключатель. Для измерения напряжений и токов использовался цифровой регистратор, соединенный с компьютером по интерфейсу RS232. Осуществлялось измерение мгновенных значений фазных напряжений при прямом подключении регистратора к сети и мгновенных значений линейных токов через лабораторные трансформаторы тока с коэффициентом трансформации 50/5. Частота дискретизации на один канал составила 5200 Гц, что соответствует 104 точкам за период напряжения сети. Полученные формы токов по всем фазам показаны на рис. 1.

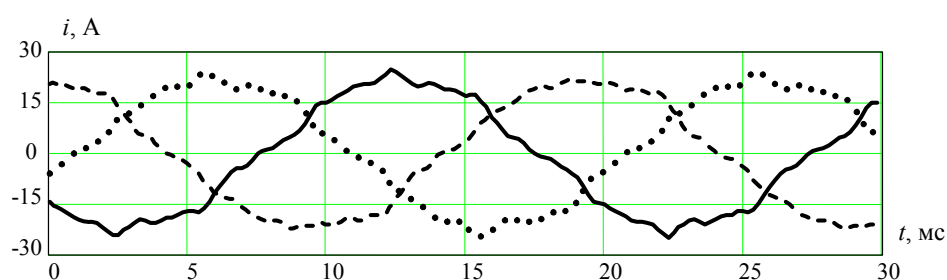


Рис. 1. Графики линейных токов трехфазного конденсатора TGL-200-8264

Средний коэффициент искажения синусоидальности кривых тока по фазам составил 0,08 при соответствующем коэффициенте для кривых напряжения, равном 0,03. Следовательно, источником высших гармоник является непосредственно конденсатор. Это можно объяснить особенностями его внутренней конструкции: многочисленными секциями, соединенными последовательно и параллельно. В результате сложных процессов перезарядки между секциями и возникает искажение синусоидальности токов.

Сгенерированные силовыми конденсаторами высшие гармоники дополнительно нагревают их, проникают в сеть, влияя на ее режимы и работу электрооборудования, что необходимо учитывать как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации систем электроснабжения.

УДК 661.832.002.8

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. М. Ходько, Ю. А. Серооккий

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

Стратегическими целями государственной политики в сфере обращения с отходами являются: максимальное уменьшение объемов образования отходов во всех секторах экономики, предотвращение их вредного воздействия на окружающую среду и здоровье граждан, наиболее полное вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья.

В 2014 г. на территории Республики Беларусь образовалось 52529 тыс. т отходов производства, увеличение к 2013 г. составило 30,3 %, главным образом за счет роста объемов галитовых отходов и шламов галитовых глинисто-солевых, образующихся на ОАО «Беларуськалий» [1]. В 2014 г. их объем составил 33970,9 тыс. т (62,8 % в общей массе, образующихся в стране отходов). Вследствие того, что степень использования галитовых отходов незначительная (2,2 %), 32261,9 тыс. т отходов в 2014 г. было удалено на объекты хранения. Таким образом, ОАО «Беларуськалий» продолжает оказывать определяющее влияние на образование отходов в стране. Понятно, что такие огромные объемы отходов не могут просто ликвидированы. Способ снижения их техногенного влияния следует искать на пути повторного использования в качестве вторичного сырья.

Цель исследований заключалась в определении возможности переработки галитовых отвалов методом электролиза и разработке эффективных направлений использования продуктов электролиза. Галитовый отвал характеризуется следующим химическими показателями, %: KCl – 2,57; NaCl – 95,19; MgCl₂ – 0,15; CaCl₂ – 0,20; CaSO₄ – 0,42; H_xO_x – 1,2 (отмытый продукт содержит NaCl менее 1,3 %). Исследования были проведены в 2014 г. в ГУО «Гимназия № 2 г. Солигорска», Минской области на базе лаборатории физики [2]. Для приготовления раствора галитового отвала были взяты 200 г изучаемого образца и 400 мл воды. Исходя из расчета содержания в образце 3 % KCl и 95 % NaCl, соответственно, их массы составили 6 и 190 г.

В ходе исследований было выделено три направления промышленного использования продуктов электролиза водного раствора галитовых отвалов: продукты электролиза (осадки и остатки галитовых отвалов) использовать в качестве компонентов для производства тротуарной плитки; полученные в растворе щелочи использовать в качестве сырья для получения мыла; извлечение газов водорода и хлора с последующим промышленным использованием.

Для получения наибольшего экономического эффекта от утилизации галитовых отвалов методом электролиза предлагаем создать территориально-производственный комплекс (ТПК), в составе которого будут действовать взаимосвязанные и взаимообусловленные производства по добыче калийных солей и переработке отходов произ-

водства, объединенные общей инфраструктурой, кадровой базой, энергетическими мощностями и т. д.

Переработка галитовых отходов методом электролиза вполне может относиться к природоохранным и ресурсосберегающим мероприятиям. Результаты исследований могут служить основанием для последующей научно-исследовательской работы и разработки более трудоемкого бизнес-плана, касающегося уже конкретных перерабатывающих производств.

Литература

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. – Минск : Информац.-вычисл. центр Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2015. – 254 с.
2. Сероокий, Ю. А. Переработка галитовых отходов методом электролиза / Ю. А. Сероокий // Беларусь в современном мире : материалы IX Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках третьего Форума регионов Беларуси и России, посвящ. вопросам соц.-гуманитар. взаимодействия, Гомель, 19–20 мая и 7 июня 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. Епархия Белорус. православ. церкви ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 284–287.

УДК 621.313

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА НАСОСНОМ ОБОРУДОВАНИИ

В. В. Бахмутская, О. С. Шведова, О. А. Полозова

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

Применяемые в энергохозяйстве предприятий вентиляльно-индукторные двигатели (ВИД) отличаются высокой надежностью, простотой конструкции, обладают интеллектуальной системой управления и свойствами адаптивности к требованиям потребителя (высокие пусковые моменты, минимальный уровень шумов и вибраций, высокий КПД) [1]. Микроконтроллерная система управления ВИД предусматривает: плавный автоматический пуск двигателя и плавное регулируемое динамическое торможение; реверсивное направление вращения вала двигателя в заданном диапазоне изменения питающего напряжения (320–420 В или 600–700 В) без снижения КПД; защиту от коротких замыканий, защиту электрооборудования от перегрузок по току; обеспечение работоспособности электродвигателя при пропадании и последующем восстановлении напряжения питающей сети (возможно обеспечение самозапуска); автоматическое самодиагностирование и диагностирование ВИД. С целью экономии электрической энергии предлагается использовать ВИД на насосном оборудовании вместо частотно-регулируемых асинхронных двигателей (АД). Основным преимуществом ВИД по сравнению с АД является его многофазность, которая упрощает компоновку силовой части преобразователя и с учетом независимости работы фаз обеспечивает высокую живучесть привода. Отказ одной или даже нескольких фаз не нарушает работу двигателя, так как при наличии некоторого резерва по току и напряжению фаз снижение выходной мощности может быть частично или полностью компенсировано за счет увеличения нагрузки фаз, оставшихся в работе.

При проведении энергетического аудита КПУП «Гомельводоканал» было выполнено инструментальное обследование электродвигателей канализационно-

насосных станций (КНС 20 – КНС 43) мощностью 37–90 кВт, при котором измерялись нагрузка, ток, напряжение, коэффициент мощности по фазам. Незагруженность практически всех электродвигателей по фазам, полученная в результате измерений, обусловила необходимость их замены на ВИД.

Экономия электрической энергии от установки ВИД оценивалась по двум составляющим:

– через снижение потерь мощности и электроэнергии в результате замены двигателей;

– за счет регулирования мощности.

Исходными данными для расчета являются: мощность асинхронного электродвигателя и его КПД, КПД ВИД, годовое время работы насоса.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод: применение ВИД на насосном оборудовании обеспечивает годовую экономию электроэнергии в диапазоне 20–25 % от потребляемой при простом сроке окупаемости 2,0–2,7 года.

Литература

1. Кузнецов, В. А. Вентильно-индукторные двигатели / В. А. Кузнецов, В. А. Кузмичев. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 70 с.

УДК 621.311

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. А. Войтович, О. С. Шведова, В. В. Бахмутская

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

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий важным вопросом является выбор рационального напряжения для схемы электроснабжения предприятия, поскольку его значение определяет параметры линий электропередачи и выбираемого электрооборудования подстанций и сетей, а, следовательно, размеры капиталовложений, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы.

Выбор напряжения основывается на сравнении технико-экономических показателей различных вариантов, когда:

– от источника питания можно получить энергию при двух и более напряжениях;

– при проектировании электроснабжения предприятия приходится расширять существующие подстанции и увеличивать мощность заводских электростанций;

– связывать сети заводских электростанций с сетями энергосистем.

При большом количестве трансформаторных подстанций и значительной протяженности распределительных сетей определение рационального напряжения внутривозовского электроснабжения практически возможно только при применении ЭВМ.

Для реализации выбора оптимального уровня напряжения в среде Delphi была разработана программа для ЭВМ по расчету рационального напряжения распределительных сетей промышленных предприятий.

Алгоритм расчета программы основывается на методе планирования эксперимента.

В качестве исходных данных (влияющих факторов) в программе используются:

– сумма расчетных нагрузок цеховых подстанций;

– сумма расчетных нагрузок двигателей 6 кВ;

- стоимость 1 кВт · ч потерь электроэнергии;
- продолжительность работы предприятия в году;
- число часов использования максимума нагрузок;
- коэффициент одновременности максимумов нагрузки на шинах ГПП;
- общее число кабельных линий, отходящих от ГПП к цеховым ТП или РП 6 кВ;
- конфигурация сети.

Диапазоны варьирования по каждому влияющему фактору позволяют охватывать большинство промышленных предприятий.

Выбор рационального напряжения выполняется по математическим моделям для наиболее распространенных схем внутризаводского электроснабжения: радиальной одноступенчатой и магистральной схемы с двойными сквозными магистралями.

Программа выводит расчетное значение рационального напряжения (как правило, нестандартного). Для определения стандартного напряжения определяются приведенные затраты для ближайшего большего и ближайшего меньшего к расчетному нестандартному напряжению (6, 10, 20 кВ) и выбирается вариант с наименьшими приведенными годовыми затратами.

УДК 621.316.11

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЧЕТЫРЕХЖИЛЬНЫХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ ПРИ ПИТАНИИ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ

А. В. Засименко, А. А. Алферов

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

Проблемы отклонений напряжения и частоты, а также способов управления ими являются предметами традиционного анализа режимов энергетических систем.

Одну из таких проблем представляют искажения формы напряжения, вызванные гармоническими составляющими тока и напряжения, потребляемых нелинейной нагрузкой промышленных предприятий и административно-бытовых зданий.

Объектом исследования являются силовые кабели напряжением до 1 кВ.

Разработана методика учета влияния нелинейной нагрузки на эксплуатационные характеристики четырехжильных питающих кабелей. Для автоматизации расчетов этих характеристик разработана программа «Hz cable», главное окно которой представлено на рис. 1.

Данная программа предназначена для решения следующих задач:

- 1) расчета потерь мощности в фазных жилах кабеля с учетом линейной и нелинейной нагрузки;
- 2) расчета потерь мощности в нулевой жиле кабеля с учетом линейной и нелинейной нагрузки;
- 3) расчета суммарных потерь мощности в кабельной линии с учетом линейной и нелинейной нагрузки;
- 4) расчета температуры нагрева кабеля с учетом нелинейной нагрузки;
- 5) расчета допустимого тока кабеля с учетом нелинейной нагрузки;
- 6) срок службы кабеля в несинусоидальном режиме.

Результаты работы можно применять как на этапе проектирования кабельных линий до 1 кВ, так и в процессе их эксплуатации при их работе на нелинейную нагрузку.

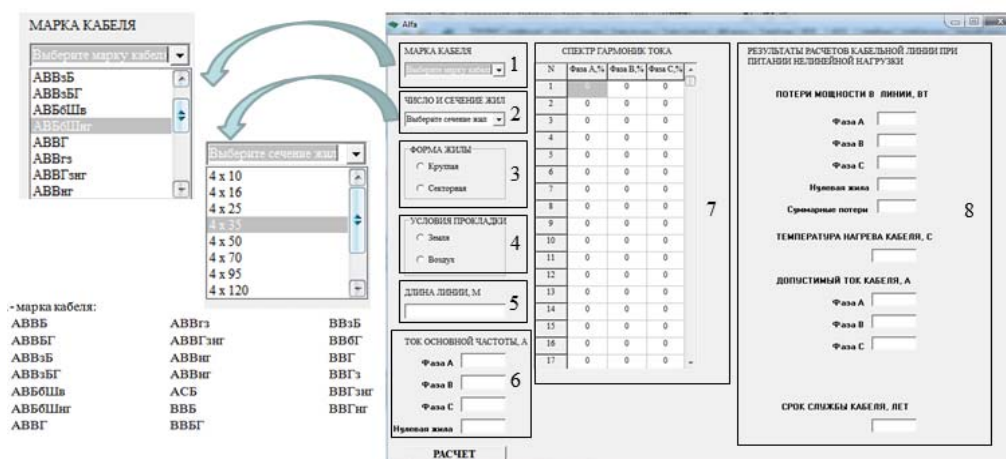


Рис. 1. Главное окно разработанной программы «Hz cable»

Учет дополнительного нагрева кабелей, вызванный ухудшением качества электрической энергии передаваемой по кабельной линии к нелинейной нагрузке, позволит предотвратить преждевременный выход из строя кабеля. Экономический эффект будет равен ущербу от преждевременного выхода из строя кабеля и внезапного отключения потребителя.

УДК 621.3.048

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «SIGMA» ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЖИМА ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. А. Довгун, А. А. Алферов, Ю. А. Рудченко

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

Высшие гармоники в электрических сетях промышленных предприятий ухудшают качество электрической энергии и нежелательны по ряду причин: появляются дополнительные потери мощности в электрических машинах, трансформаторах, кабельных линиях; сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; снижается надежность работы устройств релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи.

Методика расчета режима высших гармоник в электрических сетях предприятий, отличающихся сложной конфигурацией и содержащих значительное количество элементов, реализована на ЭВМ в среде Delphi в виде программного комплекса «Sigma», алгоритм расчета которого основан на методе узловых потенциалов и приведен в [1]. Программа позволяет выполнять расчеты несинусоидальности токов и напряжений в системах электроснабжения промышленных предприятий, схемы замещения которых имеют до 100 узлов и 300 ветвей. В каждом из узлов схемы замещения может быть одновременно учтено несколько источников высших гармоник. В качестве источников токов высших гармоник могут быть учтены реверсивные и нереверсивные вентильные преобразователи с симметричным управлением, а также преобразователи с поочередным и несимметричным управлением, установки кон-

тактной и дуговой электросварки, инверторные источники питания сварочной дуги и электродуговые печи, если генерируемые ими токи высших гармоник задать амплитудами и фазами. При расчете режима высших гармоник приняты следующие допущения [2]: система электроснабжения предполагается симметричной и линейной, т. е. все фазы обладают одинаковыми параметрами; сопротивление элементов тока высших гармоник прямой и обратной последовательностей принимаются одинаковыми; источники гармоник представляются симметричными трехфазными нагрузками, генерирующими в сеть токи высших гармоник. Принятые допущения позволяют рассматривать режим для каждой гармоники независимо от режима другой и использовать для определения амплитудных спектров токов и напряжений принцип наложения.

При расчетах могут быть учтены канонические и аномальные, не кратные трем, гармоники в диапазоне частот от 100 до 3000 Гц. Общее количество рассчитываемых гармоник не должно превышать 20-ти.

В результате работы программного комплекса «Sigma» определяются действующие значения токов отдельных гармоник в ветвях и напряжений в узлах схемы, эквивалентные действующие значения токов в ветвях и напряжений в узлах, а также коэффициент несинусоидальности кривой напряжения в узлах схемы.

Л и т е р а т у р а

1. Алферов, А. А. Прогнозирование значений высших гармоник тока и напряжения в системе электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Алферов, А. А. Довгун, Т. В. Алферова // Актуальные вопросы эксплуатации современных систем энергообеспечения и природопользования : материалы IX МНТК, Брянск, 23–24 сент. 2015 г. / Брянск. ГАУ. – Брянск, 2015. – С. 8–10.
2. Черепанов, В. В. Методы расчета и контроля показателей качества электрической энергии / В. В. Черепанов, Г. А. Черепанова. – Горький : ГГУ, 1982. – 94 с.

УДК 621.314

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НПС ОАО «ДРУЖБА»

А. Л. Евминов, Т. В. Алферова

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

Современные системы технического диагностирования электрооборудования, обеспечивающие обслуживание и ремонт по фактическому состоянию, позволяют существенно повысить безотказность оборудования и снизить затраты на обеспечение его работоспособности.

В подразделениях НПС ОАО «Дружба» для технического диагностирования электрооборудования используется электротехническая передвижная высоковольтная лаборатория РГК 80, смонтированная на базе автомобиля «Фольксваген Крафтер» и предназначенная для испытания изоляции кабелей, электрооборудования подстанций и других устройств и приспособлений повышенным выпрямленным напряжением. Питание лаборатории РГК 80 может осуществляться от однофазной сети переменного тока напряжением 230 В и частотой 50 Гц, или от независимого аварийного генератора с бензиновым двигателем. Обслуживание лаборатории производится бригадой, состоящей не менее, чем из двух человек, имеющих допуск на проведение работ в сетях напряжением более 1000 В.

Целью данной работы является разработка методики технического диагностирования (выполнения измерений) при испытании повышенным напряжением электрооборудования с применением лаборатории РГК 80. Разработанная методика выполнения измерений устанавливает порядок и условия выполнения:

– измерений при испытании повышенным выпрямленным напряжением силовых кабельных линий с бумажной изоляцией на напряжение до 1; 6; 10 кВ; с пластмассовой изоляцией на напряжение 0,66; 6; 10 кВ; с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6 кВ;

– измерений тока проводимости вентилярных разрядников типа РВП, РВО, РВМ, РВРД на напряжение 6; 10 кВ при выпрямленном напряжении;

– испытаний повышенным выпрямленным напряжением сборных и соединительных шин на напряжение до 0,69; 6; 10 кВ; силовых трансформаторов напряжением до 0,69; 6; 10 кВ; вакуумных и элегазовых выключателей, выключателей нагрузки на напряжение 6; 10 кВ; разъединителей на напряжение до 0,69; 6; 10 кВ.

Метод измерений при испытании электрооборудования повышенным выпрямленным напряжением заключается в однократном приложении нормированного испытательного напряжения к изоляции электрооборудования с контролем токов утечки (при необходимости) в течение установленного времени при определенных условиях испытаний. Измерения величины испытательного напряжения и величины тока утечки производятся методом непосредственной оценки.

Испытания по данной методике должны выполняться с учетом требований техники безопасности (ПТЭ и ПТБ, должностные инструкции и инструкции по охране труда).

Результаты испытаний оформляются записью в «Журнале регистрации результатов испытаний электроустановок». При необходимости выдается протокол установленного образца. По результатам испытаний выносится заключение о пригодности электрооборудования к дальнейшей эксплуатации.

УДК 621.311

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ДОБАВОК

А. М. Железко, Т. В. Алферова

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

Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей характеризуется значительной рассредоточенностью электроприемников небольшой мощности по большой территории, и, как следствие, малой плотностью электрических нагрузок; сезонной работой большинства потребителей.

В настоящее время предприятия агропромышленного комплекса (АПК) столкнулись с рядом проблем, основными из которых являются: низкий уровень автоматизации и механизации; изношенность машинно-тракторного парка и энергооборудования; недостаточное финансирование. При этом первостепенной задачей сельского электроснабжения является снижение стоимости электроэнергии.

Для решения данной задачи необходимо принимать меры еще на стадии проектирования электроснабжения. Автоматизация расчетов при проектировании позволяет добиться максимальной точности при определении расчетной нагрузки потре-

бителей, выборе числа, мощности и расположения трансформаторных подстанций, что в последующем приведет к экономии электроэнергии, а следовательно, и денежных средств.

Целью данной работы является автоматизация расчета электрических нагрузок сельскохозяйственных потребителей методом добавок. В соответствии с поставленной задачей был разработан программный комплекс, позволяющий определять расчетные нагрузки отдельных трансформаторных подстанций для дневного и вечернего максимума и расчетную нагрузку всего предприятия в целом.

В основу алгоритма программы положен метод добавок (надбавок), с помощью которого выполняется расчет нагрузок потребителей АПК. Суммирование расчетных нагрузок производится на вводах потребителей или линиях трансформаторных подстанций. Если нагрузка потребителей в группе отличается по значениям более чем в 4 раза, то их суммируют по таблицам значений добавок активной мощности. Для более точных расчетов в программе предусмотрена аппроксимация таблиц добавок активной мощности с возможностью вывода значений на экран.

При наличии в зоне электроснабжения сезонных потребителей (парники, теплицы, орошения) расчетные нагрузки сети определяются с учетом коэффициентов сезонности. Если суммарная нагрузка сезонных потребителей составляет от суммарной нагрузки несезонных потребителей более 20 % для весенних, 30 % для летних или 10 % для осенне-летних, то кроме расчетного зимнего режима выполняется расчет нагрузки для соответствующего сезона.

Исходными данными для расчета по программе являются: тип (наименование каждого помещения на предприятии); количество потребителей; установленная мощность электроприемников; площадь каждого помещения. Коэффициенты спроса, одновременности, таблицы добавок заложены в программу и выбираются автоматически.

Итоговыми результатами работы программы, выводимыми на экран, являются: расчетная осветительная и силовая нагрузка, а также общая нагрузка каждого из потребителей в отдельности, суммарная нагрузка всего предприятия АПК, рассчитанная методом добавок для дневного и вечернего максимумов. В программе предусмотрено автоматическое объединение в группы электроприемников по критерию сходной мощности.

УДК 621.313

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ (НА ПРИМЕРЕ КПУП «МОЗЫРСКИЕ МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ»)

Ю. Н. Колесник, И. Ю. Сарнавский

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

В настоящее время постоянно ужесточаются требования к предприятиям и организациям по экономии ТЭР. В этой связи целью работы является повышение эффективности деятельности предприятий в области энергосбережения путем совершенствования Программы мероприятий по энергосбережению.

Для совершенствования Программ мероприятий по энергосбережению предлагаются алгоритмы для выбора очередности внедрения энергосберегающих меро-

приятий, а также выявления оптимальных источников их финансирования, что повысит эффективность деятельности предприятия в области энергосбережения.

На основании анализа программы по энергосбережению КПУП «Мозырские молочные продукты» было выбрано четыре комплексных энергосберегающих мероприятия. Благодаря расчету энергосберегающего эффекта и ряду экономических показателей (простой и динамический срок окупаемости, индекс доходности, чистый дисконтированный доход), разработана технико-экономическая модель эффективности энергосберегающих мероприятий с учетом сроков реализации и структуры источников финансирования, исходя из чего был реализован алгоритм для определения очередности внедрения мероприятий программы по энергосбережению [1].

В данном случае алгоритм основан на сравнении затрат (капитальных вложений) и эффекта в денежном выражении от энергосберегающего инвестиционного проекта.

Таким образом, видно, что мероприятия № 1, 2 оказываются сравнительно малозатратными (рис. 1). Экономический эффект от их реализации значительно превышает затраты (левая зона графика).

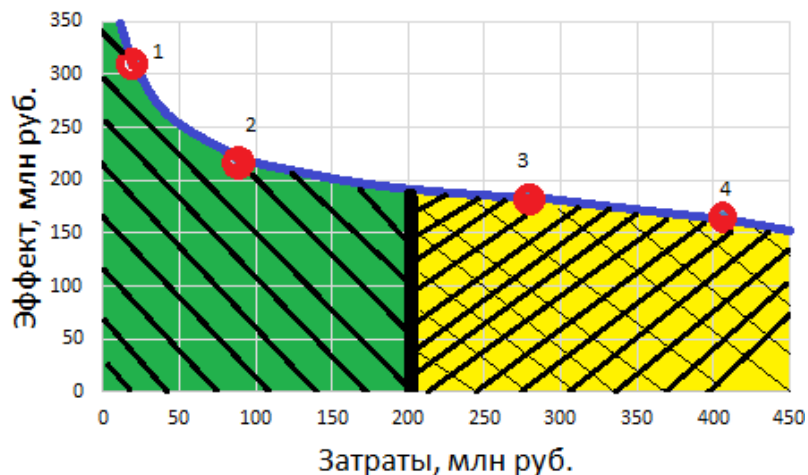


Рис. 1. Стадии реализации потенциала энергосбережения

Мероприятия № 3, 4 – средnezатратные, при которых эффект и затраты примерно равноценны (правая зона графика). В первую очередь целесообразно внедрять малозатратные мероприятия (1, 2), далее – средnezатратные (3, 4). Источники финансирования – собственные средства предприятия и банковское кредитование.

Литература

1. Червинский, В. Л. Бизнес-планирование инновационного энергосберегающего проекта : учеб.-метод. пособие / В. Л. Червинский. – Минск : БНТУ, 2011. – 38 с.

СЕКЦИЯ VI. ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ, ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 338.45:621(476)

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

О. В. Арашкевич

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

Машиностроение является одной из главных составляющих развития экономики в Республике Беларусь и представляет материальную базу научно-технического развития. Машиностроение занимает первое место по количеству занятых работников в промышленности и выступает валообразующей отраслью [1].

Однако сегодня существует ряд проблем, препятствующих наращиванию объемов производства машиностроения и выходу на качественно новый уровень развития отрасли. Прежде всего следует отметить высокий уровень износа основных производственных средств в машиностроении (около 70 %), низкие темпы обновления оборудования и выпускаемой продукции. В связи с этим возникает необходимость постоянного обновления основных средств, внедрения новых технологий, модернизации производства [2]. Но как показывает опыт, модернизация должна носить инновационный характер и учитывать ряд факторов: наличие подготовленных и высококвалифицированных специалистов; высокий уровень маркетинговой политики, направленной на исследование емкости рынков и возможностей сбыта продукции; наличие знаний и навыков управления высокотехнологичным оборудованием.

Также немаловажными проблемами развития машиностроительного комплекса являются: нарушение технологических связей; простои многих предприятий; несоответствие подавляющей части отечественного оборудования и машин мировым стандартам; высокая импортность; низкая надежность производимых машин, вызванная невысоким качеством комплектующих деталей, которые в первый же год эксплуатации выходят из строя (20–30 %); диспропорции в темпах роста отдельных отраслей. В связи с этим одной из главных задач машиностроения является коренная реконструкция и опережающий рост таких отраслей, как станкостроение, приборостроение, электротехническая и электронная промышленность, производство вычислительной техники, что позволит Республике Беларусь приблизиться к мировому уровню развития экономики.

В настоящее время для решения вышеизложенных проблем государство видит привлекательной холдинговую организацию осуществления производственно-хозяйственной деятельности первоочередная задача которой заключается в том, чтобы все предприятия могли генерировать прибыль от производственной деятельности и самостоятельно себя обеспечивать оборотными средствами, не обращаясь за финансовой помощью к государству. В системе холдингов у предприятий появится больше возможностей для реализации программ импортозамещения, повышения их экспортного потенциала, увеличения объемов поставляемой продукции на экспорт, обновления основных средств. Кроме того, холдинги позволят сконцентрировать инженерный потенциал, активнее проводить опытно-конструкторские и научно-

исследовательские работы, облегчат привлечение средств для развития и модернизации производства.

Таким образом, перспективное развитие машиностроительной отрасли может быть обеспечено за счет привлечения инвестиций, вступления машиностроительных предприятий в холдинговые компании, интеграции академических институтов в реальный сектор экономики.

Л и т е р а т у р а

1. Национальная экономика Беларуси : учеб. пособие / В. Н. Шимов [и др.]. – Минск : БГЭУ, 2011. – 843 с.
2. Промышленный комплекс Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.minprom.gov.by>. – Дата доступа: 19.09.2016.

УДК 331.108

РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ: КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД

Л. В. Листопад

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

Целью исследования является выявление путей повышения конкурентоспособности кадрового потенциала предприятия машиностроения, основные методы, используемые в научной работе – сбор теоретических и практических данных, анализ и синтез полученной информации. Полученные результаты – обоснована необходимость развития кадрового потенциала на основе компетентностного подхода, предложены практические методы развития компетенций работников машиностроительного предприятия и этапы их обучения.

Постиндустриальный этап экономического развития общества изменил принципиальные представления о менеджменте, выдвинул на первый план развитие человеческого потенциала в организации деятельности предприятия. Сегодня локомотивом повышения эффективности и результативности всех процессов на производстве является управление знаниями и талантами кадров, их системное развитие.

Основной характеристикой работника на машиностроительном предприятии в современных условиях выступает обладание должным набором компетенций, в отличие от необходимости наличия квалификации на более ранних временных этапах. Необходимые компоненты компетенций: мыслительная деятельность; знания как осведомленность работника о профессиональной деятельности; опыт как профессиональный, так и социальный; умения и навыки, способности; трудовая мотивация работника, ценностные ориентации.

Повышение конкурентоспособности кадров, развитие человеческого потенциала машиностроительного предприятия требует развития компетенций работников, обучения их компетентному поведению, для чего могут быть использованы все традиционные формы обучения на производстве. К ним можно отнести тренинги, основанные на компетенциях, рабочие задания, наставничество и коучинг, самообучение, дистанционное обучение, открытые диалоги с приглашением успешных руководителей и работников данной или смежной сфер, стажировки за границей и т. д.

Обучение как процесс развития компетенций кадров может быть представлено последовательной реализацией следующих этапов:

1. Планирование обучения:

1.1) выявление потребности в обучении на основе оценки компетенций;

1.2) планирование и проектирование процесса обучения;
1.3) выбор средств и методов обучения для достижения необходимого уровня компетенций.

2. Организация процесса обучения.

3. Оценка эффективности обучения:

3.1) оценка достижения необходимого уровня компетенций;

3.2) анкетирование работников.

В целях совершенствования системы развития персонала предприятия машиностроения целесообразно иметь общую методику формирования единых ориентиров и решений по реализации проектов профессионального обучения. Наряду с развитием персонала, включая обучение, необходимо уделять внимание анализу его результативности.

Литература

1. Профессиональные компетенции как инструмент конкурентоспособности организации / Независимый бизнес-портал BusinessSeminar. – Режим доступа: <http://www.b-seminar.ru>.

УДК 330.322:334.012.6:334.722

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СФЕРЕ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

И. В. Бабына

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

Инвестиционные процессы активизируются в тех сферах и видах деятельности, в которых инвесторы могут получить наибольшие выгоды. Учитывая этот факт, государству необходимо создавать благоприятные условия по тем направлениям, которые являются стратегическими приоритетами социально-экономического развития. Для Республики Беларусь одним из таких приоритетов является развитие малого и среднего предпринимательства (МиСП), что ассоциируется с возможностью создания новых рабочих мест. Насколько эта сфера привлекательна для инвестирования можно судить по показателям рентабельности и мультипликативным эффектам, формирующимся в национальной экономике (таблица).

Динамика показателей эффективности инвестиционных процессов в сфере МиСП и в Республике Беларусь в целом в 2012–2014 годах [1], [2]

Показатели	Республика Беларусь			Субъекты МиСП		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Рентабельность инвестированного капитала, %	45,9	19,5	19,2	56,1	32,8	22,0
Темпы роста инвестиций в основной капитал, в % к предыдущему году	156,4	135,8	107,7	164,6	139,2	117
Темпы роста ВВП, в % к предыдущему году	178,5	122,4	119,9	202,4	117,9	116,3
Доля инвестиций в основной капитал в объеме ВВП, %	29,1	32,3	29,0	40,8	48,2	48,5
Процент прироста ВВП на 1 % прироста инвестиций в основной капитал, %	1,39	0,63	2,58	1,59	0,46	0,96

Данные таблицы свидетельствуют, что для самих инвесторов сфера МиСП является более привлекательной, так как здесь наблюдается более высокий уровень рентабельности инвестированного капитала. Об этом говорят опережающие темпы роста инвестиций в данную сферу по сравнению с ростом инвестиций в экономику Республики Беларусь в целом. Однако в 2012–2014 гг. наблюдается существенное замедление деловой активности и эффективности инвестиционных процессов как в экономике в целом, так и в сфере МиСП.

Что касается влияния деятельности субъектов МиСП на экономику Республики Беларусь, то выводы не являются столь однозначными. Если в 2012 г. процент прироста ВВП на 1 % прироста инвестиций в основной капитал был выше по сфере МиСП, то в 2013–2014 гг. ситуация изменилась, причем значение показателя оказалось меньше 1. Это говорит о низком уровне мультипликационных эффектов, формируемых в сфере МиСП, о низкой отдаче и эффективности использования инвестиций в основной капитал при условии, что их доля относительно ВВП, создаваемого в данном секторе чрезвычайно высока (более 48 %). Следовательно, при реализации различных мер государственной поддержки, особенно связанных с инвестированием, необходимо принимать в расчет показатель валовой добавленной стоимости, что должно быть отражено в соответствующей государственной программе.

Литература

1. Малое и среднее предпринимательство в Республике Беларусь : стат. сб. – Минск, 2015. – 441 с. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 10.09.2016.
2. Республика Беларусь : стат. ежегодник. – Минск, 2015. – 524 с. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 10.09.2016.

УДК 332.13:332.146

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

А. П. Геврасева, И. В. Глухова

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

В соответствии с Программой развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 г. эффективным направлением повышения конкурентоспособности субъектов хозяйствования является кластерный подход, который предполагает объединение региональных производителей, выполняющих разные функции и взаимодействующих на основе технологической кооперации. Основу кластеризации национальной экономики составляют создание и функционирование инновационно-промышленных кластеров в машиностроении, нефтехимической отрасли, фармацевтической промышленности, приборостроении, оптике, электронике, информационных технологиях, ресурсо- и энергосбережении.

Для определения целесообразности создания производственных кластеров научным сообществом не выработано единой методики оценки кластеризации региона. В соответствии с Концепцией формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 16.01.2014 г. № 27, для расчета территориальной концентрации субъектов хозяйствования используют коэффициент локализации, определяемый по структуре занятости (отрасли в отдельном регионе, страны в целом, региона в целом, отрасли в стране). Для анализа расчеты целесообразно проводить также по объему произведенной продукции, стоимости основных производственных фондов. В дополнение

к коэффициенту локализации следует использовать коэффициент душевого производства, определяемый как отношение удельного веса отрасли региона в соответствующей структуре отрасли страны к удельному весу населения региона в населении страны. Если рассчитанные коэффициенты больше единицы и имеют тенденцию к росту, значит, в этих отраслях возможно создание кластеров.

При формировании кластеров и выборе из них наиболее приоритетных необходимо оценить динамику коэффициентов локализации, так как увеличение их значений свидетельствует о возможных дальнейших перспективах роста кластеров, а снижение – о необходимости расширения ассортимента выпускаемой продукции, модернизации производства или о неперспективности кластера в будущем.

Результаты проведенного анализа показывают, что в производственном секторе Гомельской области самым высоким потенциалом для формирования кластеров обладают черная металлургия (3,8 и 5,4 – коэффициенты локализации и душевого производства соответственно) и топливная промышленность (2,5 и 3,5 – коэффициенты локализации и душевого производства соответственно). Значительным потенциалом кластеризации характеризуются предприятия лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (0,8 и 1,2). Предприятия таких отраслей, как машиностроение и металлообработка, пищевая промышленность, электроэнергетика также могут входить в кластеры, поскольку рассчитанные для них коэффициенты имеют тенденцию к росту или близки к единице.

Реализация кластерного подхода в Республике Беларусь будет способствовать повышению конкурентоспособности региональных промышленных комплексов, сокращению транзакционных издержек производителей посредством совместной технологической кооперации. Вместе с тем успешная реализация кластерного подхода предопределяет необходимость структурной перестройки экономики. Поэтому акцент в политике государственного регулирования смещается в сторону развития сектора малого и среднего предпринимательства как основы формирования кластерной модели с учетом их адаптивности и готовности к самоорганизации.

УДК 338.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИТАЛА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Е. П. Пономаренко

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

Важной задачей, стоящей перед системой менеджмента предприятий машиностроения, является обеспечение их платежеспособности. Это обусловлено значительным периодом кругооборота капитала в операционной деятельности, особенно у предприятий с длительным циклом производства продукции, и как следствие низкой скоростью его оборота, что в итоге влияет на достаточность денежных средств и потребность во внешних источниках финансирования. Для успешной реализации этой задачи на каждом предприятии должна быть создана эффективная система управления его краткосрочными активами.

Как показывает проведенное исследование, одна из проблем, с которой сталкиваются менеджеры в процессе управления краткосрочными активами, состоит в несоответствии исходной информации требованию ее полноты. То есть общие и частные показатели оборачиваемости, рассчитанные на основании действующих методик, отражают деловую активность предприятия, но не позволяют проследить взаимосвязь

между оборачиваемостью активов и платежеспособностью. Так, по изменению коэффициентов оборачиваемости активов, исчисленных к выручке [1], нельзя судить об их влиянии на платежеспособность предприятия, поскольку признание выручки в бухгалтерском учете не подкреплено притоком денежных средств. В свою очередь частные показатели длительности хранения материалов, процесса производства, хранения готовой продукции, погашения дебиторской задолженности покупателей дают неполную информацию о причинах замораживания средств в обороте, поскольку связанные между собой потоки активов в денежной и материальной форме не синхронизированы по времени. Отток денег на оплату приобретаемых запасов не совпадает со сроком их поставки, он может предшествовать ему (выдача авансов поставщикам) или возникать после поставки ценностей (погашение кредиторской задолженности поставщикам). Получение денежных средств от покупателей может наступать до отгрузки продукции (зачисление авансов от покупателей) или следовать за ней (погашение дебиторской задолженности покупателей).

Для решения этих проблем мы предлагаем, во-первых, определять общие показатели оборачиваемости, основываясь на притоке денежных средств от хозяйственной деятельности. Во-вторых, используя данные бухгалтерских счетов и правило расчета оборачиваемости для счетов, разработанное И. Ф. Шером [2, с. 99], исчислять и попарно сравнивать между собой показатели длительности периода выдачи авансов и погашения кредиторской задолженности перед поставщиками (без учета полученных авансов), а также показатели длительности периода использования полученных авансов и погашения дебиторской задолженности покупателей (без учета выданных авансов). Такое сравнение даст возможность выявить дисбаланс в сроках привлечения и отвлечения денежных средств на этапах заготовления материалов и сбыта продукции и скорректировать политику предприятия машиностроения в части коммерческого кредитования в целях повышения его платежеспособности.

Литература

1. Инструкция о порядке расчета коэффициентов платежеспособности и проведения анализа финансового состояния и платежеспособности субъектов хозяйствования : утв. постановлением М-ва финансов Респ. Беларусь и М-ва экономики Респ. Беларусь от 27 дек. 2011 г. № 140/206 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.
2. Соколов, Я. В. История бухгалтерского учета : учебник / Я. В. Соколов, В. Я. Соколов. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 272 с.

УДК 338.244.018:330.341

ХОЗРАСЧЕТНЫЕ САНКЦИИ В ИННОВАЦИОННОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е. В. Трейтьякова

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

Основой конкурентоспособности предприятия машиностроения сегодня является инновационная концепция его развития. Для инновационных решений необходимо перейти на качественно новую систему организации внутрихозяйственного механизма предприятия.

Одной из задач внутрихозяйственного механизма предприятия является повышение оперативно-хозяйственной самостоятельности подразделений предприятия

с одновременным повышением их ответственности за результаты своей деятельности. Для усиления оперативной самостоятельности на ход выполнения заданий и обязательств важное значение имеет материальная ответственность внутренних подразделений.

Материальная ответственность внутренних подразделений предприятия за невыполненные обязательства может выражаться в двух формах. Одна из них заключается в возмещении убытков, а другая – в уплате неустоек (штрафов). В заводской практике обе формы материальной ответственности называют хозрасчетными санкциями.

Санкции за невыполненные обязательства призваны обеспечивать возмездно-эквивалентные отношения между отдельными звеньями предприятия во внутризаводском обороте средств, т. е. выполнять компенсационную функцию. Отражаясь на результатах хозрасчетной деятельности, санкции осуществляют одновременно контроль рублем за ходом производства и стимулируют его развитие. Во внутризаводском хозяйственном расчете санкции выступают и в качестве активного средства борьбы с хозрасчетными правонарушениями.

Эффективность применения санкций в системе внутризаводского хозрасчета предприятий машиностроения зависит от соблюдения ряда условий, к которым относятся:

а) правильное определение сферы распространения и объекта применения хозрасчетных санкций. Санкции могут и должны применяться во всех экономических отношениях, связанных с использованием производственных фондов и созданием готового продукта, его потребительной стоимости (в том числе и стоимости прибавочного продукта, необходимого для обеспечения расширенного воспроизводства). Объектами применения хозрасчетных санкций могут быть участок, цех, отдел или служба. Санкции должны воздействовать на величину поощрительных фондов подразделений, а также на размеры премии и вознаграждений, выплачиваемых работникам;

б) установление рациональных форм материальной ответственности внутризаводских подразделений. Они должны обеспечивать возмещение причиненных нарушенными обязательствами убытков и уплату неустоек (штрафов);

в) несложная методика определения убытков и размеров неустоек (штрафов), доступная пониманию непосредственных производителей;

г) установление четко регламентированного порядка разрешения и удовлетворения внутризаводских хозрасчетных претензий, конкретных форм учета и отчетности по примененным санкциям в системе синтетического и аналитического бухгалтерского учета.

Нормы материальной ответственности за невыполнение внутрихозяйственных обязательств разрабатываются и утверждаются самими предприятиями на принципе единства материальной ответственности для всех внутризаводских подразделений.

В основе внутрихозяйственных отношений должна лежать прямая ответственность. Ответственность по цепочке обезличивает внутрихозяйственные отношения и ослабляет все экономические рычаги в системе внутризаводского хозяйственного расчета.

УДК 338.45:621

**НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ****Н. К. Ландова***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

В современных условиях хозяйствования предприятия несут ответственность за эффективность производства, которое является важным показателем имиджа и конкурентоспособности предприятия. Для реализации поставленной задачи предприятию необходимо в надлежащем состоянии поддерживать старое производство и качество выпускаемой продукции, либо используя современные технологии внедрить в производство новое. Научно-технический прогресс выступает одним из основных факторов повышения эффективности деятельности предприятия. Для успешного функционирования предприятия необходимо провести качественные изменения в его деятельности, внедрить в производство современную технику и технологии, что повлечет за собой перестройку отраслей хозяйства. Для анализа показателей экономической эффективности необходимо принимать во внимание факторы повышения эффективности производства по основным направлениям развития и совершенствования производства. К данным направлениям можно отнести: комплекс технических, организационных и социально-экономических мер, которые позволяют экономить живой труд, затраты и ресурсы, повысить качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции [1]. Факторы, повышающие эффективность производства:

- минимальное использование ресурсов – внедрить в производство современную технику и технологии, которые позволят экономно использовать материалы, энергию, совершенствовать нормативную базу предприятия, наладить переработку отходов производства, улучшить качество оказываемых услуг;
- эффективное использование основных производственных средств предприятия – ликвидировать из производства не задействованные машины и оборудование, передать в аренду не используемое имущество предприятия, наладить ремонт техники, установить новое оборудование и максимально его загрузить;
- максимально эффективное использование рабочего ресурса – создать на предприятии оптимальный штат сотрудников, повысить их квалификацию, обеспечить высокую производительность труда по сравнению со средней заработной платой, применить современные системы и формы оплаты труда, обеспечить максимальную мотивацию;
- применение маркетинговых коммуникаций – создание оптимальной стратегии ценообразования, рекламной кампании, исследование и анализ рынка услуг;
- применение научно-технического прогресса – повышение технического уровня производства, повышение качества производимой и осваиваемой продукции, создание инновационной политики предприятия;
- совершенствование развития диверсификации, специализации и кооперирования, комбинирования и территориальной организации производства;
- разгосударствление и приватизация экономики, совершенствование государственного регулирования, хозяйственного расчета и системы мотивации к труду.

Среди всех факторов повышения эффективности и усиления интенсификации производства решающая роль принадлежит разгосударствлению и приватизации экономики, НТП и активации человеческой деятельности, усилению личностного фактора, повышению роли людей в производственном процессе. Проведение ком-

плекса мероприятий позволит повысить эффективность производства, улучшить показатели качества продукции, внедрить новую технологию, сократить затраты и способствовать продвижению предприятия на рынке [2].

Л и т е р а т у р а

1. Алексеева, М. М. Планирование деятельности фирмы / М. М. Алексеева. – М. : Инфра-М., 2011. – 245 с.
2. Сеница, Л. М. Организация производства / Л. М. Сеница. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006. – 521 с.

УДК 658.2

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ
ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ ВЗАИМНОЙ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ
МНОГОУРОВНЕВОЙ АДАПТАЦИИ**

В. А. Голуб

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

В современных условиях необходим новый подход к организации и управлению производством, который предусматривает динамическое реагирование на изменения в экономике. Требуется не только совершенствование организации и управления производством, но и целенаправленное, непрерывное развитие процесса качественных преобразований их состояния. Особенно это относится к предприятиям, не отвечающим современным требованиям изменившихся условий экономического, социального и научно-технического развития.

Внедрение новой техники, технологии, методов управления в организациях сопровождается устранением рассогласований между действующей системой управления и изменяющимися условиями функционирования производства. В организациях в основном идет пассивное развитие системы управления в ответ на объективные изменения производства. Однако в современных условиях, характеризующихся нарастанием динамизма, необходимо активное развитие системы управления, сознательно регулируемое и способное не только предопределять качественные изменения в производстве, но и обеспечивать собственное развитие.

В процессе функционирования предприятия определяют цели и осуществляют деятельность по их достижению. Этот процесс является динамическим и требует синхронизации деятельности иерархических компонентов самого предприятия (системы управления и производственных подразделений) и внешней среды. Для повышения результативности этого процесса возможно применение положений теории взаимной опережающей многоуровневой адаптации.

Опережающий многоуровневый характер взаимной адаптации предприятия со средой обуславливает заблаговременное формирование определенной структуры предприятия, 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.

Основными сдерживающими факторами совершенствования управления производственным процессом являются дефицит информации о потенциале теории взаимной опережающей многоуровневой адаптации и нехватка (отсутствие) квалифицированных менеджеров. Преодолев эти недостатки можно дать импульс дальнейшему распространению современных способов организации и управления производством.

Литература

1. Венда, В. Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика / В. Ф. Венда. – М. : Машиностроение, 1990. – 448 с.
2. Голуб, В. А. Управление хозяйственными организациями / В. А. Голуб. – Гомель : ГПИ им. П. О. Сухого, 1996. – 157 с.
3. Кононова, В. Модернизация производственных систем как фактор повышения конкурентоспособности предприятий / В. Кононова // Проблемы теории и практики управления. – 2006. – № 11. – С. 8–18.
4. Ломоносов, Б. П. Развитие производства и управления на предприятиях машиностроения (теория и практика) : монография / Б. П. Ломоносов, Н. А. Саломатин. – М. : ЛЕНАНД, 2014. – 616 с.

УДК 005.6

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ
КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ**

М. В. Голуб

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

В условиях все более изменчивого окружения предприятия стремятся к получению конкурентных преимуществ. В современной экономике конкуренция на основе ценового фактора и использования рыночной власти ограничена, в том числе из-за дифференциации требований покупателей, связанной с ростом доходов, а также из-за повышения степени открытости экономики и развития антимонопольного законодательства. Таким образом, ключевым фактором обеспечения конкурентоспособности становится качество продукции.

До середины 80-х гг. XX в. процесс производства являлся вторичным по отношению к конечному продукту. Конечный продукт рассматривался менеджерами как основное средство получения прибыли и повышения конкурентоспособности. Усиление перечисленных выше факторов (рост доходов, глобализация, открытость рынков и всеобщая конкуренция) внесло свои коррективы, и в настоящее время производственный процесс рассматривается как основное средство получения прибыли и повышения конкурентоспособности.

Организация производственного процесса определяет свойства и качество конечного продукта. То есть процесс создания продукта и есть процесс, подлежащий управлению для обеспечения требуемых качественных показателей конечного изделия. Для повышения эффективности управления производственным процессом он представляется как совокупность связанных между собой технологических процессов, т. е. тот или иной производственный процесс, как система, может быть декомпозирована как по времени, так по материальным ресурсам на отдельные взаимосвязанные подсистемы, которые, в свою очередь, также могут быть расчленены на части. Все технологические процессы должны быть максимально стандартизированными и прозрачными, что позволит снизить уровень издержек и соответственно повысить рентабельность производства; повысить качество продукции; улучшить управляемость производственных процессов на основе ускорения процедур принятия управленческих решений, упрощения организационной структуры; снижения влияния человеческого фактора при управлении производственными процессами и предприятием в целом.

Литература

1. Беккер, В. Управление технологическими процессами как подсистема управления качеством продукции / В. Беккер // Проблемы теории и практики управления. – 2010. – № 10. – С. 78–84.
2. Голуб, М. В. Организация технического перевооружения предприятия на основе инженерного консалтинга / М. В. Голуб // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 23–24 окт. 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, ОАО «Компания «Сухой»; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – С. 131–132.
3. Карпенко, Е. М. Менеджмент качества : учеб. пособие для студентов специальности «Менеджмент» учреждений, обеспечивающих получение высш. образования / Е. М. Карпенко, С. Ю. Комков. – Минск : ИВЦ Минфина, 2007. – 208 с.
4. Тишков, Ю. С. Производство: качество процесса определяет качество продукции / Ю. С. Тишков // Планово-экон. отд. – 2007. – № 8. – С. 18–23.

УДК 658.26

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ:
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Н. В. Пархоменко, Л. В. Щукина, Т. А. Шевелева

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

Важным фактором повышения энергетической эффективности является совершенствование подходов к управлению энергопотреблением. Как показывает мировая практика, наряду с инженерно-техническими и технологическими мероприятиями в области энергосбережения, на предприятиях, где производство продукции отличается высокой энергоемкостью, перспективным направлением сокращения затрат энергоресурсов может быть применение системного подхода к управлению энергопотреблением на основе разработки и внедрения систем энергоменеджмента. Достижимое за счет этого уменьшение объемов использования ископаемых ТЭР позволит, помимо получения экономических выгод, снизить нагрузку на окружающую среду и соответствующие экологические издержки.

Гомельская область относится к регионам с высоким уровнем развития машиностроительной отрасли, предприятия которой оказывают значительное влияние на состояние окружающей среды. Анализ показателей превышения нормативов сбросов/выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду машиностроительными предприятиями Гомельской области (ОАО «СтанкоГомель», ОАО «Гомельский завод станочных узлов», ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», ОАО «Гомельский завод измерительных приборов») за период 2011–2015 гг. показал, что проблема экологичности производства требует дальнейшего решения. Так, в отдельные годы относительные показатели превышения установленных экологических нормативов находились в диапазоне 1,09–5,09. При этом в структуре выбросов загрязняющих веществ значительную долю составляют парниковые газы, являющиеся результатом сжигания ископаемого топлива и вызывающие возникновение долгосрочного климатического эффекта.

В отличие от традиционных подходов к снижению энергозатрат, ориентированных на разовые энергосберегающие мероприятия, в основе энергоменеджмента –

системные управленческие действия, связанные с формированием и реализацией стратегии энергопотребления, направленной на формирование энергосберегающей модели поведения персонала, повышение эффективности инвестиций в энергосбережение, контроль достижения результатов внедрения энергосберегающих мероприятий.

Эффективность применения системного подхода в сфере управления энергопотреблением может проявляться как во внутренней, так и во внешней среде организаций. К наиболее значимым преимуществам его использования нами отнесены: в экономической сфере – экономия всех видов энергоресурсов, снижение производственных затрат и рост доходов, рост стоимости компании; в сфере охраны окружающей среды – сокращение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, в том числе – создающих парниковый эффект, предотвращение климатических изменений.

Таким образом, дальнейшее устойчивое развитие отечественных машиностроительных предприятий неразрывно связано со снижением потребления ТЭР, повышением энергетической и экологической эффективности производства на основе разработки, внедрения систем энергоменеджмента и сертификации их на соответствие требованиям стандарта СТБ ISO 50001–2013 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению», который обеспечивает руководителей предприятий стратегией действий в направлении повышения энергетической эффективности.

УДК 658.26

СТАНДАРТЫ НА СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА: ЭВОЛЮЦИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Н. В. Пархоменко, Т. Г. Фильчук

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

Отличительной характеристикой машиностроительных предприятий является высокая доля энергозатрат в структуре себестоимости продукции, что делает продукцию данных предприятий энергоемкой. Снижение энергоемкости является основой экономического роста и развития предприятия, поскольку в значительной степени формирует конкурентоспособность выпускаемой продукции.

Исследование показало, что в настоящее время энергоэффективность и энергосбережение на предприятии не может быть в полной мере достигнуто без создания совершенной системы управления энергопотреблением. В мировой практике большое распространение получили управленческие методы управления энергозатратами, основывающиеся на концепции энергетического менеджмента и реализуемые посредством разработки и внедрения систем энергетического менеджмента (далее – СЭМ).

Повышение эффективности управленческих технологий в сфере энергопотребления достигается за счет разработка единых требований к построению СЭМ. В связи с этим во многих европейских странах (Дания, Швеция, Ирландия, Испания, Германия), а также в Южной Корее, США и Китае были приняты и успешно применялись национальные стандарты на СЭМ. В дальнейшем утвержденный в 2009 г. европейский стандарт EN 16001:2009 получил национальный статус в каждой из стран-членов Европейского комитета по стандартизации (CEN). Активное развитие национальных и региональных

стандартов в области энергоменеджмента привело к необходимости гармонизации требований на международном уровне. В этой связи Международной организацией по стандартизации (ISO) в 2011 г. принят международный стандарт ISO 50001:2011, разработанный с учетом накопленного опыта и лучших мировых практик в области управления энергопотреблением. Данный стандарт стал основой для принятия соответствующих национальных стандартов на системы энергоменеджмента для многих стран, в числе которых – Республика Беларусь (СТБ ISO 50001–2013).

В ходе исследования было проведено соотнесение основных действий управления, представленных в государственном стандарте – СТБ ISO 50001–2013, с элементами «цикла Деминга – PDCA». Так, элементу «планирование» (plan) соответствует: разработка документов в области энергетического планирования; идентификация, внедрение и анализ правовых требований в области энергоэффективности; проведение энергетического обзора на основе анализа использования и потребления энергии, определение мест значительного энергопотребления и возможностей для улучшения энергохарактеристик и др. Аналогичным образом из текста стандарта был выделен перечень мероприятий для каждого из последующих элементов цикла: «осуществление» (do), «проверка» (check), «действие» (act).

Необходимо отметить, что на промышленных предприятиях Республики Беларусь применение систем энергоменеджмента сегодня находится на начальной стадии. В целях устранения возможных барьеров на пути развития СЭМ представляется целесообразным: повышение информированности руководителей и ведущих специалистов предприятий о необходимости и преимуществах разработки, внедрения и сертификации СЭМ; четкое установление границ СЭМ и объектов документирования; создание действенных стимулов для активизации персонала предприятия в направлении распространения и закрепления на практике основных принципов энергоменеджмента; своевременное создание и регламентация работы структур управления в СЭМ и др.

УДК 339.138:332.02

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. Ю. Бердин, Р. А. Лизакова

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

В сегодняшних сложных экономических условиях многие отечественные предприятия сталкиваются с проблемами при работе со своей распределительной сетью. Среди основных проблем можно выделить дихотомию интересов различных участников системы распределения, различность подходов к ведению бизнеса представителями производителя в регионах, несбалансированность ценовой политики и отсутствие персонализации ответственности. Наличие практического опыта далеко не всегда заменяет отсутствие упорядоченной системы, особенно на этапе создания фундаментальных основ и единых принципов для всех участников распределительной сети. В связи с этим необходимо выработать принципы, определяющие условия функционирования распределительной сет предприятия, которые позволят минимизировать вышеперечисленные риски (см. таблицу).

**Принципы, предлагаемые для обязательного отражения в положении
о функционировании распределительной системы
промышленного предприятия**

Принципы	Характеристика
Декларирование форм распределения	Указывается посредством каких распределительных форм осуществляется сбыт продукции
Обозначение статуса субъектов	Обозначается тип субъектов ТПС, указывается форма отношения к ним предприятия
Декларирование стратегии	Прописывается стратегия, главная цель, конкретные задачи всех элементов распределительной системы
Управляемость системой	Обозначается административный центр ответственности, определяются рычаги воздействия
Зональность сбыта	Разграничиваются сбытовые регионы между субъектами распределительной системы
Регулируемость функционирования	Прописываются механизмы регулирования оперативного функционирования распределения
Единообразии стандартов коммуникации	Определяются константные значимые элементы фирменного стиля, товарного окружения, принципов взаимодействия с потребителями, уровня сервиса
Разграничение обязанностей	Декларируются обязанности всех участников распределительной цепи
Обусловленная ответственность	Обозначается ответственность за невыполнение задекларированных обязательств

Источник: разработка авторов.

Естественно, использование производителем совокупности принципов, представленных в таблице, не ликвидирует в полном объеме всю совокупность проблем в системе распределения, но, как минимум, позволит предприятию сформировать общее представление о тех факторах, которые должны в обязательном порядке учитываться при реализации политики распределения. Упреждающий характер формирования распределительной сети предприятия на вышеуказанных принципах позволит отечественным предприятиям в максимальной степени нивелировать или адаптивно урегулировать в рамках взаимосогласованных и утвержденных принципов распределения основные проблемные вопросы, возникающие в рамках работы распределительной сети.

УДК 330.341

**НАПРАВЛЕНИЯ АКТИВИЗАЦИИ КЛАСТЕРНОГО
РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Н. П. Драгун, И. В. Ивановская

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

По результатам проведенного исследования факторов кластерного развития машиностроения Гомельской области нами разработаны следующие практические рекомендации органам государственного управления:

1. Развитие кластерных структур в машиностроении должно происходить преимущественно в виде вертикально-интегрированных кластеров, включающих помимо группы одноотраслевых конкурентов организации, являющиеся потребителями, поставщиками и др.

2. Наиболее предпочтительным способом создания новых кластеров является их формирование «снизу» путем включения в кластеры вновь созданных предприятий на базе единой производственной инфраструктуры. В качестве примера можно привести Парк высоких технологий, технопарки, кластеры на базе организаций НАН Беларуси. Создание кластеров на базе уже функционирующих предприятий менее предпочтительно, поскольку большинство из них уже входят в другие интеграционные структуры.

3. Учитывая вышеизложенное, для возникновения кластеров необходимо создавать соответствующую производственную инфраструктуру, на базе которой они будут развиваться. В качестве примера можно привести индустриальный парк «Великий камень», Парк высоких технологий и др.

4. Поскольку большинство перспективных для включения в кластеры предприятий области уже входят в другие интеграционные структуры жесткого иерархического типа, которые по своим функциям «конкурируют» с кластерами, необходимо проанализировать эффективность этих «жестких» форм интеграции в перспективных для создания кластеров видах машиностроения и при необходимости (т. е. меньшей эффективности) отказаться от них в пользу кластерных структур.

5. Должна быть пересмотрена роль вышестоящих управляющих органов и органов государственной власти как координаторов взаимодействия предприятий в тех видах машиностроения, которые привлекательны для создания кластеров, поскольку чем выше координирующая роль данных органов, тем меньше стимулов у подчиненных организаций к созданию кластеров для взаимной координации деятельности.

6. В силу сложившейся в экономике ситуации роль органов государственной власти в активизации кластерного развития машиностроения чрезвычайно велика. Это подтверждает итоги создания интеграционных структур в агропромышленном комплексе, которые получены в рамках государственных программ развития АПК. В результате сейчас практически в каждом административном районе возможно создание агрокластеров. Поэтому чрезвычайно важно выработать и реализовать эффективную государственную кластерную политику, которая должна опираться на результаты настоящего исследования.

7. Значительным препятствием для создания кластеров является отсутствие у большинства машиностроительных предприятий четкого представления о сущности кластеров, их функциях и преимуществах перед другими интеграционными структурами. Нет также четкого понимания того, какие проекты могут быть реализованы путем создания кластеров. Поэтому широкое информирование руководства предприятий по проблемам кластерного развития является необходимым условием для его активизации.

8. Должна быть значительно повышена роль научно-исследовательских организаций как перспективных баз создания инновационных кластеров. Для этого необходимо существенно повысить уровень их интеграции с производством.

УДК 331.91

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА: СОДЕРЖАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НА БЕЛОРУССКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**Н. П. Драгун, И. Ю. Курбиева***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Необходимость неотложного решения проблемы повышения производительности труда работников на современном этапе обусловлено следующими причинами: *во-первых*, отсутствует комплексная система управления производительностью труда; *во-вторых*, используются административные, «ручные» подходы к оплате, организации и нормированию труда работников, не стимулирующие рост производительности; *в-третьих*, существуют проблемы с выстраиванием бизнес-процессов, оптимизацией численности персонала. Кроме того, даже для крупных промышленных предприятий Беларуси, работающих над повышением своей эффективности и укреплением своих позиций в конкурентной борьбе, вопрос эффективности персонала не относится к числу приоритетных. Занимаясь повышением своего инновационного потенциала и совершенствованием процессов, работу с персоналом они ограничивают премиями за высокие результаты и штрафами за несоблюдение графика, не интересуясь причинами возникновения проблем. Наличие указанных проблем свидетельствует о том, что белорусские предприятия не направлены, *во-первых*, на диверсификацию производства, а, *во-вторых*, на создание новых высокопроизводительных структур. В этой связи представляется целесообразным изучение передового зарубежного опыта и решение задачи повышения производительности труда с целью обобщения и распространения его на отечественном производстве.

Современный подход, используемый в наиболее эффективных зарубежных корпорациях (в частности, стран Японии, Германии и США), отличается значительным расширением содержания, форм и методов организации труда работников. Проведенное нами исследование применяемых механизмов и инструментов управления производительностью труда в западных странах позволило установить следующие ключевые ориентиры: *во-первых*, освобождение от вспомогательных функций, которые не приносят добавленной стоимости, широкое использование аутсорсинга; *во-вторых*, повышение автоматизации производства посредством внедрения распределенных вычислительных систем и сетей; *в-третьих*, применение гибких подходов к организации труда рабочих (регулярная ротация внутри предприятия, интегрированные задания, обучение на рабочем месте, выделение гибких производственных ячеек); *в-четвертых*, построение оптимальных и высокотехнологичных бизнес-процессов по всем функциональным направлениям деятельности; *в-пятых*, внедрение механизмов стимулирования замены устаревших рабочих мест новыми современными технологичными рабочими местами, введение показателей, соответствующих KPI.

Применение белорусскими предприятиями современных западных инструментов повышения производительности труда на практике при условии быстрого реагирования на изменяющиеся запросы внешней среды и потребителя позволит избежать ненужных затрат и успешно конкурировать в условиях современного рынка. Использование зарубежного опыта позволит отечественным промышленным предприятиям стабилизировать свои экономические показатели, увеличить производи-

ность труда, тем самым улучшить свое положение на конкурентном рынке. Вместе с тем внедрение западных новаций на отечественных предприятиях без разработки комплексной системы управления производительностью труда будет пустой тратой денег. Для эффективного решения этой задачи необходимо, прежде всего, полностью систематизировав управление, решить все организационные проблемы – четко до деталей отладить весь процесс производства и решить проблему мотивации персонала на каждом рабочем месте, разработать точную систему оценки эффективности, в том числе до уровня KPI производственных участков.

УДК 658.15

УПРАВЛЕНИЕ ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРИНГА И КРЕДИТА

А. М. Павлов

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

Актуальность управления дебиторской задолженностью в наше время растет ежегодно, поскольку согласно результатам финансовой деятельности организаций Республики Беларусь за период с 2012 по 2015 г. темп роста дебиторской задолженности опережает темп роста выручки от реализации продукции, ситуация усугубляется тем фактом, что за данный период доля просроченной дебиторской задолженности (в общей задолженности) возросла с 10,9 % (в 2012 г.) до 18,5 % (в 2015 г., в машиностроении до 20,0 %) [1].

Отечественные предприятия в процессе сотрудничества со своими клиентами на условиях отсрочки платежа, при возникновении кассовых разрывов сталкиваются с выбором – взять кредит в банке или уступить право денежных требований фактору. Для принятия оптимального решения используется сравнение плюсов и минусов каждого из вариантов решения в отношении управления дебиторской задолженностью.

Методика сравнения эффективности состоит из реализации следующих этапов:

- структурирование дебиторов по сумме, срокам, платежеспособности;
- расчет эффективной ставки кредита [2];
- расчет эффективной ставки факторинга согласно выражению, где учитываются комиссии за сервис, использование средств, а также срок отсрочки платежей [2], но в дополнение к указанным факторам учитывается дополнительная маргинальная прибыль от ускорения оборачиваемости дебиторской задолженности и страхование (риск) регресса;
- сравнительная оценка стоимости кредита и факторинга, с позиций эффективности управления дебиторской задолженностью и изменения финансового состояния организации.

Данная методика применялась для сравнительной оценки эффективности управления дебиторской задолженностью на предприятиях г. Гомеля (количество исследованных субъектов хозяйствования – 4 (предприятия машиностроения), период 2011–2014 гг.). Результаты сравнительной оценки кредита и факторинга, с учетом финансового состояния (определяемого через коэффициент текущей ликвидности ($K(тл)$), изменения соотношения дебиторской (ДЗ) и кредиторской задолженности (КЗ) представлены на рис. 1.

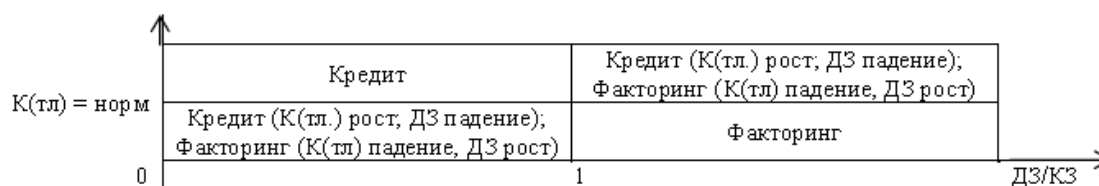


Рис. 1. Области и условия применения кредита и факторинга (на примере предприятий машиностроения Гомельской области)

Отличие данной методики в том, что она позволяет учитывать комплексное влияние факторинга на финансовое состояние организации, не только как способ краткосрочного финансирования, но и как инструмент управления дебиторской задолженностью.

Литература

1. Медведева, И. В. Республика Беларусь, 2016 : стат. ежегодник / И. В. Медведева – Минск : ИВЦ-НСК РБ, 2016. – 518 с.
2. Балянов, В. Как сравнить стоимость кредита и факторинга / В. Балянов // Система Финансовый директор – 10.09.2016 – Режим доступа: <http://www.1fd.ru/#/document/178/611/bssPhr11/?of=copy-6a50159e6b>.

УДК 339.564:630

АКТИВИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ С ЦЕЛЬЮ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ЭКСПОРТНОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕДРЕВЕСНЫХ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ

О. В. Лапицкая¹, А. П. Петров-Рудаковский²

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

²Учреждение образования «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации», г. Гомель

В настоящее время в развитии экономики нашей страны внешнеэкономической деятельности отводится значительная роль. Здесь важно обратить внимание на те сферы и отрасли, которые пока изучены и востребованы не в должной мере, но при этом имеют большой потенциал для увеличения экспорта. К одному из таких перспективных направлений можно отнести машинную заготовку и использование недревесных лесных ресурсов. Значимость данного направления представляется существенной в контексте намеченного перехода к так называемой «зеленой экономике», которая предполагает установление сбалансированных соотношений между соблюдением экологических ограничений и стимулированием экономического развития субъектов. Одним из инструментов перехода к «зеленой экономике» является обязательная стоимостная оценка природных ресурсов [1], [2].

Для разработки методики как количественной, так и стоимостной оценки экспортного потенциала недревесных лесных ресурсов была исследована роль отдельных их видов во внешнеэкономической деятельности Республики Беларусь, при этом установлено, что доля традиционных видов недревесных лесных ресурсов в экспорте составляет около 0,1 % (для сравнения – доля древесных ресурсов в экспорте находит-

ся в пределах 1,6–1,8 %). В соответствии с предложенным экспортный потенциал ресурса рассматривается как абсолютная, количественно измеримая величина. На основании этого предложенная методика базируется на узком (традиционном) понимании недревесных лесных ресурсов и основана на усреднении параметров, характеризующих объемы заготовки (изъятия) ресурса и долю в этом объеме экспорта, и введении управляемых параметров, с помощью которых заинтересованными субъектами управления может задаваться желаемая динамика заготовки и экспорта тех или иных видов недревесных ресурсов. Для оценки экспортного потенциала отдельных видов недревесных лесных ресурсов предлагается авторская методика. Практическая апробация предложенной методики проведена на основе данных Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [2].

Кроме машинной заготовки и экспорта отдельных видов недревесных лесных ресурсов значимый вклад в результаты внешнеэкономической деятельности в рамках становления «зеленой экономики» могут осуществить мероприятия по достижению импортозамещающего эффекта. В данном контексте можно рассматривать плантационное выращивание и машинный сбор не только грибов и ягод, но и орехоплодных и лекарственных растений. Принципиально важным выступает вовлечение отдельных видов недревесных ресурсов в развитие лесной биоэнергетики.

Кроме того, следует отметить, что развитие экспортного потенциала в машинно-технической заготовке недревесных лесных ресурсов возможно не только за счет их традиционных видов, но и за счет более широкого использования на внешних рынках неосязаемых недревесных ресурсов, которые характеризуются в первую очередь тем, что имеют высокую добавленную стоимость, и не требуют дополнительных затрат по их воспроизводству, так как они могут порождаться лесной средой (при ее наличии) даже без целенаправленного воздействия человека.

Л и т е р а т у р а

1. Лапицкая, О. В. Эколого-экономические основы определения спелости леса : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / О. В. Лапицкая. – Гомель, 2001. – 257 с.
2. Петров-Рудаковский, А. П. Развитие экспортного потенциала недревесных лесных ресурсов Республики Беларусь : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / А. П. Петров-Рудаковский. – Гомель, 2014. – 191 с.

УДК 658.15

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. М. Павлов, Г. Е. Брикач

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

Анализ каждого в отдельности финансового коэффициента предприятия не дает цельную картину изменения финансового состояния предприятия. В связи с этим возникает необходимость в определении комплексной оценки финансового ресурсного потенциала, которая представляет собой интегральную оценку по комплексу показателей. Эта задача была решена посредством адаптации методики расчета потенциала многомерного динамического объекта, которая разработана профессором НГУ Шалановым А. Н. [1].

Для определения финансового потенциала исследуемого предприятия (ОАО «Гомельский завод специнструмента и технологической оснастки») была сформирована система показателей, состоящая из финансовых коэффициентов. В качестве показателей, отражающих потенциальные финансовые возможности предприятия, были взяты следующие финансовые коэффициенты: x1 – автономии; x2 – платежеспособности; x3 – абсолютной ликвидности; x4 – быстрой (промежуточной) ликвидности; x5 – текущей ликвидности; x6 – обеспеченности собственными оборотными средствами; x7 – обеспеченности финансовых обязательств активами; x8 – плечо финансового рычага; x9 – подвижности.

Группировка по значимости показателей

Показатели	2012 г.	2013 г.	2014 г.	Значимость показателя, %
<i>Группа 1</i>				
x9	0,388	0,389	0,402	56,1
<i>Группа 2</i>				
x6	0,673	0,652	0,540	10,3
x1	2,721	2,298	2,299	6,1
x2	1,784	1,672	1,748	5,9
x5	1,742	1,648	1,702	5,8
<i>Группа 3</i>				
x7	0,116	0,125	0,176	5,6
x8	0,132	0,143	0,215	4,8
x4	0,744	1,068	0,529	3,9
x3	0,612	0,238	0,012	1,5
Интегральная оценка	0,931	0,902	0,730	–

Источник: собственная разработка на основе отчетности ОАО «ГЗСиТО».

Анализ данных таблицы показывает, что образовались три группы показателей: значимые, менее значимые и не значимые. То, что коэффициент абсолютной ликвидности получил наименьший вес 1,5 %, говорит о том, что предприятие недостаточно уделяет внимания этому фактору. Значимым для предприятия оказался коэффициент подвижности основных фондов (вес – 56,1 %). Однако считать, что предприятие ведет правильную финансовую политику нельзя, так как имеется убывающий характер динамики интегральной оценки, который говорит о том, что в целом анализируемое предприятие неэффективно использует имеющиеся у него финансовые ресурсы.

Литература

1. Шаланов, Н. В. Системный анализ. Кибернетика. Синергетика: Математические методы и модели. Экономические аспекты / Н. В. Шаланов. – Новосибирск : НГТУ, 2008. – 288 с.

УДК 658.51

**ОРГАНИЗАЦИЯ ОТРАСЛЕВОЙ ПРОБЛЕМНОЙ ЛАБОРАТОРИИ
«БЕРЕЖЛИВОЕ ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО»****С. Е. Астраханцев***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Литейное производство является основной заготовительной отраслью машиностроения Республики Беларусь. Анализ состояния литейного производства Республики Беларусь, современные проблемы, вызовы и задачи проведены в работе [1]. В анализе отмечается, что: «...техническое перевооружение литейных цехов должно стать приоритетным направлением инвестиционной политики...»; «...оценивая ситуацию с развитием литейного производства в высокоразвитых странах Европы, мы считаем (*Ассоциация литейщиков и металлургов РБ – прим. автора*), что наши литейные подразделения должны не только выжить в сложных современных условиях рыночных отношений, но и стать высокоприбыльной подотраслью промышленности...».

На экономику литейного производства оказывают существенное влияние особенности технологического процесса получения литейных заготовок: большое разнообразие технологических процессов, применяемых для производства отливки; высокая материалоемкость производства и затраты на перемещение предметов труда в процессе производства; необходимость хранения больших запасов материалов; длительный технологический цикл и значительная величина незавершенного производства.

Решение современных проблем литейного производства и поставленных перед ним задач только заменой технологического оборудования не всегда дает ощутимые результаты. Для их получения необходима соответствующая организация основного производства и других сфер деятельности литейных цехов и заводов. Организовать эффективную производственную систему можно путем внедрения концепции Бережливого производства (Lean Production) [2]. Концепция Lean, охватывающая все бизнес-процессы организации, позволяет: постоянно повышать удовлетворенность потребителей, акционеров и других заинтересованных сторон; постоянно повышать результативность и эффективность бизнес-процессов.

Таким образом, с одной стороны, внедрение концепции Lean в практику деятельности литейных цехов и заводов является актуальной темой для отечественного машиностроения. С другой стороны, как показал анализ публикаций по данной теме, она является малоизученной и на наших предприятиях нет устоявшейся практики использования инструментов Бережливого производства. Также серьезной проблемой является отсутствие на предприятиях специалистов, обладающих необходимыми знаниями и компетенциями, и целенаправленной их подготовки в университетах и в системе бизнес-образования.

Для решения современных проблем, вызовов и задач литейного производства Беларуси необходимо на базе ГГТУ им. П. О. Сухого, совместно с гомельскими машиностроительными заводами, создать отраслевую проблемную лабораторию «Бережливое литейное производство». Основными задачами отраслевой лаборатории должны стать проведение тематических исследований, разработка и внедрение организационных инноваций и целенаправленная подготовка специалистов для литейных цехов и заводов Беларуси.

Литература

1. Кукуй, Д. М. О повышении эффективности использования мощностей белорусского литейного производства / Д. М. Кукуй // Литье и металлургия. – Режим доступа: <http://limrb.by/interesting>. – Дата доступа: 02.03.2015.
2. ГОСТ Р 56020–2014. Бережливое производство. Основные положения и словарь. – М. : Стандартинформ, 2014.

УДК 334.75

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА РЫНКЕ****Ю. А. Волкова, Н. П. Драгун***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

В настоящее время интеграция рассматривается как один из наиболее перспективных механизмов повышения результативности деятельности предприятий машиностроения. В то же время принятие решений о создании интеграционных структур в машиностроении требует предварительной оценки его эффективности. Однако подавляющее большинство методических подходов, содержащихся в литературе, направлены на оценку эффективности уже функционирующих интеграционных структур, что, безусловно, никак не может помочь в решении указанной проблемы.

В результате проведенного анализа существующих в научной литературе подходов к определению мотивов и критериев эффективности интеграции нами установлено, что основными из них являются: а) *неоинституциональный, основанный на теории транзакционных издержек*, где в качестве источников эффективности интеграции выступают снижение транзакционных издержек в результате упорядочения рыночного поведения, риска оппортунистического поведения и др.; б) *неоклассический, базирующийся на получении дополнительных конкурентных преимуществ*, где эффективность интеграции определяется уменьшением числа конкурентов, ростом рыночной доли и связанным с этим увеличением рыночной власти; в) *стратегический, основанный на формировании потенциала долгосрочных взаимовыгодных деловых отношений*, при котором эффект интеграции определяется ростом экономического, инвестиционного, инновационного потенциала интегрированной структуры, наличием синергетического и информационных эффектов взаимодействия, экономии за счет концентрации производства и др.

В этой связи нами определено, что мотивы интеграционных взаимодействий предприятий в процессе достижения целей деятельности на рынке необходимо рассматривать комплексно как совокупность трех основных групп: а) *структурные*, определяемые структурой рынка, которая в свою очередь детерминирует величину транзакционных издержек, а также возможности его монополизации для получения монопольной прибыли; б) *транзакционные*, т. е. параметры осуществляемых транзакций, основными из которых являются их частота, продолжительность, сложность, неопределенность результатов и трудность их измерения, взаимосвязь с другими транзакциями, специфичность активов, необходимых для осуществления транзакции; в) *экономические*, т. е. имеющиеся возможности использовать эффекты масштаба, разнообразия, опыта и т. д. для снижения издержек.

Перечисленные выше мотивы взаимодействия предприятий на рынке обуславливают наличие трех основных целей такого взаимодействия: *изменение структуры*

рынка с целью повышения рыночной власти на нем – структурная цель взаимодействия; *снижение транзакционных издержек и рисков* – транзакционная цель взаимодействия; *снижение трансформационных издержек* как на основе роста уровня концентрации спроса (закон опыта) и предложения (эффекты масштаба и разнообразия), так и обеспечения необходимого объема инвестиций в специфические активы – экономическая цель взаимодействия.

Следовательно, показателями для прогнозирования эффективности интеграции могут являться: а) рост рыночной власти интегрирующихся предприятий, определяемый на основе изменения значения индекса Лернера или показателей, позволяющих оценить этот индекс косвенно; б) снижение транзакционных издержек и рисков, которое косвенно может быть оценено снижением потерь от наличия просроченной дебиторской задолженности; в) рост инвестиций в специфические активы предприятия; г) снижение издержек производства, оцениваемое как прямыми, так и косвенными (например, рентабельность активов) показателями.

УДК 656.13

О ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Н. С. Сталович

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

В условиях мирового экономического кризиса предприятиям необходимо оптимальное сокращение собственных издержек как в области управления производством, так и в структурах логистики. Для эффективного функционирования предприятия в случае воздействия дестабилизирующих факторов требуется не максимально возможная, а оптимальная надежность логистической операции (уровень логистического обслуживания), приносящая максимальную прибыль.

По определению, логистическая операция – это преобразование материального потока и сопутствующих ему информационного и финансового потоков.

В настоящей работе рассматривается задача управления надежностью материальными потоками логистической системы предприятия.

Логистические операции с материальным потоком – это складирование, транспортировка, комплектация, погрузка, разгрузка, внутренние перемещения сырья и материалов при реализации логистических функций производства, упаковка груза, укрупнение грузовых единиц, хранение. Структура логистической системы представляется числом элементов (подсистем), выполняющих соответствующие логистические операции.

Основными параметрами материальных потоков являются их начальные и конечные пункты, траектория пути, длина пути потока, скорость и время движения в пути, промежуточные пункты движения потока, интенсивность потока, нарушение ритмичности и непрерывности. Эти параметры имеют случайный характер. Следовательно, логистическую систему мы можем представить как многоканальную систему массового обслуживания.

Основными компонентами такой системы являются: входной поток заявок на обслуживание; механизм (каналы) обслуживания; очередь заявок, ожидающих обслуживания, и дисциплина очереди; выходной поток обслуженных заявок; поток не обслуженных заявок; очередь свободных каналов.

Структура обслуживающей системы определяется количеством и взаимным расположением разнотипных каналов обслуживания. Каналы обслуживания логистических потоков характеризуются продолжительностью обслуживания и количеством выполненных требований, вероятностное распределение времени обслуживания зависит от типа потока и состояния обслуживающей системы.

Для составления алгоритма расчета вычисляем вероятностные характеристики логистической системы: нагрузка, приходящаяся на один канал; вероятность того, что канал свободен; вероятность состояний канала; вероятность занятости канала; абсолютная пропускная способность; среднее число заявок под обслуживанием; среднее число заявок в очереди; среднее время пребывания заявки в очереди. По полученным данным строится граф состояний системы и составляется система уравнений Колмогорова, решение которой позволяет определить вероятности всех состояний, при которых система обслуживает материальный поток.

Так как оптимальные режимы функционирования системы зависят от оптимального выбора структурных элементов (подсистем) и введения в систему избыточных элементов (резервирование), то уровень надежности оптимизируется количеством последовательно и параллельно соединенных в ней элементов и за счет повышения надежности каждого из них в отдельности.

УДК 338.43

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БЕЛОРУССКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИНЦИПАХ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Е. А. Кожевников

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

Текущие экономические проблемы белорусских производственных предприятий в значительной степени обусловлены ситуацией со сбытом продукции как внутри страны, так и у основных стран-импортеров, прежде всего Российской Федерации. Это заставляет проявлять особое внимание к анализу состояния логистической деятельности белорусских предприятий и поиску путей ее активизации и совершенствования [2], [3].

Крупные и средние производственные предприятия республики, трансформировавшиеся на базе еще советских организаций (ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» и др.), создали собственные логистические системы, не в полной мере отвечающие принципам неологистики. Формируя и частично оптимизируя цепи «закупка–производство–дистрибуция–продажа», они не смогли добиться их целостности, структурированности и высокой эффективности функционирования.

Решение указанных проблем, по нашему мнению, в первую очередь требует совершенствования и оптимизации логистических цепей поставок. Отдельные элементы этих цепей могут и должны оптимизироваться при реализации следующих целей:

1. Минимизация финансовых и временных затрат на производство, перемещение, хранение, использование и реализацию сырья и материалов.
2. Оптимизация использования трудовых ресурсов, основных и оборотных средств по внутренней производственной цепи поставок.

3. Максимизация качества и конкурентоспособности реализуемой продукции.

4. Максимизация выручки и прибыли от реализации продукции и по внутренней, и по всей цепи поставок. Данная цель является, по нашему мнению, обобщающей и интегрированной. Она достигается только при достижении всех трех предыдущих целей.

Говорить о том, что сегодня можно видеть реализацию принципа оптимальности по всей логистической системе какого-либо промышленного или агропромышленного предприятия Беларуси не приходится. Однако активно предлагаются, а также частично или полностью реализуются эти принципы по отдельным задачам производственной, закупочной, распределительной логистики, логистики запасов и складирования. При этом используется как традиционный экономико-математический аппарат второй половины XX в., так и развивающиеся последние несколько десятилетий отдельные его направления. В частности, это некоторые сравнительно новые элементы в теории игр и эконометрике. В практическом плане можно увидеть:

1. Применение методов и моделей условной и многоцелевой оптимизации на базе линейного, нелинейного, динамического, стохастического программирования в производственной и закупочной логистике, логистике складирования. Способствует этому широкое распространение программного обеспечения для современных компьютеров, реализующего либо более простые и ограниченные возможности (Microsoft EXCEL), либо более широкие и профессиональные (Microsoft IMSL, MathSoft Mathcad и др.).

2. Применение эконометрических методов и моделей, особенно на базе компьютерных программных продуктов, практически во всех видах логистики. Как правило, это делается в пределах традиционной математической статистики – корреляционно-регрессионного анализа и моделирования, не выходя на системы одновременных эконометрических моделей или, например, на модели с фиктивными переменными.

3. Применение по большей части аналитических методов управления запасами в логистике запасов, производственной и закупочной логистике.

4. Методы выбора маршрута применяются наиболее широко в транспортной логистике, иногда – в закупочной, производственной и складской логистике. Реализуемость оптимизационных методов для кольцевых, маятниковых и иных маршрутов, очевидность получаемых преимуществ в виде экономии времени, горюче-смазочных материалов, финансовых затрат делают применение этих методов лидерами в практической логистике.

5. Методы сетевого планирования и более широко – методы теории графов и сетей – применяются иногда в производственной логистике и логистике складирования.

Что касается экономико-математических методов и моделей теории массового обслуживания, теории игр, имитационного моделирования – эти направления редко выходят за пределы научных работ и доходят до практического применения.

В производственной логистике предприятий Республики Беларусь можно привести ряд примеров реализации соответствующих задач. Например, в промышленности – это поддетальное планирование и контроль межцеховых поставок деталей и узлов для ОАО «Гомсельмаш» [1], оптимизация раскроя листов оконного стекла для ОАО «Гомельстекло» и др. В сельском хозяйстве – оптимизация рациона кормов для откорма крупного рогатого скота, свиней, птицы.

Проведенный анализ практики применения логистических принципов в деятельности белорусских производственных предприятий позволяет сделать следующие выводы:

1. Принцип оптимальности удается обеспечить при решении отдельных задач производственной, закупочной, распределительной, сервисной, складской, транспортной, информационной, финансовой логистики на предприятиях промышленности и агропромышленного комплекса.

2. В практике решения производственных логистических задач большее применение находят те экономико-математические методы и модели, которые десятилетиями уже использовались на белорусских производственных предприятиях и представлены в существующих программных системах для компьютеров. Прежде всего, это методы и модели условной оптимизации, корреляционно-регрессионного анализа, простейшие аналитические методы.

3. Модели и методы теории игр, теории массового обслуживания, имитационного моделирования широкого применения в производственной логистической практике белорусских предприятий пока не нашли, хотя за ними, как мы считаем, – будущее.

Только развивая логистические принципы оптимальности и обеспечивая их применение в решении производственных и иных задач, стоящих перед белорусскими предприятиями, можно обеспечить их функционирование и инновационное развитие.

Л и т е р а т у р а

1. Ковалев, М. Н. Управление межцеховыми поставками в логистической системе предприятия / М. Н. Ковалев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 2. – С. 92–100.
2. Кожевников, Е. А. Совершенствование логистической деятельности белорусских предприятий на агропродовольственном рынке ЕАЭС. Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 120-летию образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – С. 154–156.
3. Кожевников, Е. А. Współczesny marketing i logistyka – globalne wyzwania. Polska, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Siedlce, 2014. – С. 251–266.

УДК 334.7

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ АЛЬЯНСЫ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ VOLVO

В. А. Васичева

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Вызовы глобализации, стратегическая значимость укрепления конкурентоспособности в условиях перехода к новому технологическому и социально-экономическому укладу объективно обуславливают необходимость координации деятельности хозяйственных субъектов сферы автомобилестроения для обеспечения устойчивости их рыночных взаимодействий. Стратегический альянс как форма межфирменной кооперации увеличивает потенциал решения масштабных задач различных предприятий [1]. Стратегические альянсы образуются двумя или более партнерами для достижения долгосрочных целей, выигрышных для всех участников, и данная характеристика отличает такие союзы от других форм партнерств.

Автомобилестроение – это область промышленности, динамично развивающаяся в соответствии с современными технологиями и инновациями. Volvo является одним из ведущих мировых производителей коммерческих и грузовых автомобилей, автобусов, двигателей и различного оборудования. Данная компания постоянно сотрудничает с другими партнерами, создавая уникальные возможности для удовлетворения возрастающих требований потребителя. Например, в результате стратегического альянса Volvo Penta и швейцарская компания Garmin совместно разработали систему управления, навигационное оборудование и средства связи, которые будут предлагаться заказчику в составе комплексного решения полностью интегрированных систем привода и управления судном. Этот альянс позволяет объединить опыт компаний с целью разработки и продвижения на рынке инновационного морского оборудования и аппаратуры связи. Volvo вместе с Renault создали дизели и коробки передач, которыми затем укомплектовывали некоторые модели своих магистральных тягачей. Но этот факт никак не устранял прямой конкуренции на рынке между их моделями [2]. Создание стратегического альянса с американской компанией Carlson Paving Products предусматривает выпуск модернизированных виброреек для дорожных асфальтоукладчиков Volvo. Стратегический альянс Dongfeng Motor Group и Volvo позволил расширить рынки сбыта спецтехники и самосвалов, сконцентрировавшись на строительной отрасли в Европе. Благодаря совместному сотрудничеству Volvo Cars и шведского поставщика электроэнергии компании Vattenfall появилась возможность разработать автомобиль с аккумуляторами, которые заряжаются от обычной электросети. Обе компании инвестировали в процесс разработки гибридного автомобиля с дизель-электрической установкой [3].

Количество стратегических альянсов растет с каждым днем. Для достижения и поддержания конкурентоспособности компании объединяют свои силы и средства для достижения определенных целей. Поиск новых выгодных форм сотрудничества для предприятий автомобильной промышленности является неотъемлемой частью развития производства, расширения рынка сбыта, развития производства и экономического роста.

Л и т е р а т у р а

1. Иншакова, Е. И. Стратегические альянсы: потенциал для nanoиндустрии России / Е. И. Иншакова // Вестн. Волгоград. гос. ун-та. Сер. 3. Экономика. Экология. – 2015. – № 1 (30). – С. 30–40.
2. Кит, П. П. Формы межфирменных стратегических альянсов в автомобильной промышленности / П. П. Кит // Автомобил. пром-сть. – 2007. – № 2. – С. 39–40.
3. Volvo Cars: Первый в мире дизель-электрический гибридный автомобиль от Volvo Cars и Vattenfall. – Режим доступа: <https://www.media.volvocars.com/ru/ru-ru/media/pressreleases/36388>. – Дата доступа: 05.09.2016.

УДК 338.48

УПРАВЛЕНИЕ ПРОДВИЖЕНИЕМ ТОВАРОВ И УСЛУГ ЧЕРЕЗ СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ

Е. Н. Карчевская

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

В развитии международных отношений на современном этапе наблюдается переход ко все большей автоматизации деловых процессов, использованию информа-

ционных технологий в бизнесе. Социальные сети – это эффективные способы продвижения товаров и услуг.

Цель настоящего исследования – изучение степени восприятия и использования участниками рынка Гомельского региона роли социальных сетей в развитии бизнеса.

Работа осуществлялась в двух направлениях: как с позиций производителей, так и с позиций потребителей услуг. Изучались подходы к использованию социальных сетей региональными предприятиями и степень представления ими в социальных сетях продукта, а также исследовалось использование покупателями услуг электронной информации из социальных сетей. Анализ проводился на основании материалов, представленных на Белорусском портале Holiday.by и Relax.by [1], [2].

Анализ показал, наиболее популярными русскоязычными социальными сетями для наших соотечественников являются ВКонтакте, Одноклассники, Мой мир. Среди американских социальных сетей самыми посещаемыми белорусами являются: Википедия, Youtube, Facebook, Twitter [3]. В целом белорусы предпочитают налаживать социальные связи в российских соцсетях, а круг их общения ограничен своей страной или своим городом. Молодежь предпочитает сайт Vkontakte.ru, а более возрастные респонденты – Odnoklassniki.ru. Многие респонденты имеют «стаж» регистрации в соцсетях в несколько лет, посещают социальные сети ежедневно, и используют сеть для общения с друзьями, обмена мультимедийной информацией, совершения покупок, а также для организации свободного времени.

Основными способами эффективного продвижения услуг в сети Интернет для гомельских фирм могут быть: создание сообщества или группы в социальной сети; создание специального корпоративного ресурса с информацией об услугах компании; использование таргетированной рекламы, направленной на конкретных пользователей; использование рекламы в приложениях, например в играх; активизация целевой аудитории с помощью акций, скидок, конкурсов; создание возможности бронировать свои услуги на страницах социальных сетей; использование блоггеров и активных пользователей, которые рассказывают о компании.

Основными проблемами являются: неумение грамотно использовать социальные сети для развития бренда, отсутствие квалифицированных специалистов, нерегулярное обновление страниц, размещение неактуальной информации, отсутствие новостной ленты или нерегулярная работа с ней, отсутствие мониторинга эффективности работы в социальных сетях, не готовность компании выделять средства на продвижение бренда в социальных сетях, отсутствие в Беларуси специализированных социальных сетей.

Таким образом, социальные сети могут использоваться в разных целях и разными способами, но в том или ином случае помогают продвинуть свои услуги на рынок.

Литература

1. Режим доступа: <http://www.holiday.by/agencies/gomel>.
2. Режим доступа: <http://www.relax.by/cat/tourism/turagentstva/gomel/>.
3. Режим доступа: <http://www2.unwto.org>.

УДК 658.15

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНОГО БУДУЩЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ООО «МОТО-ВЕЛО»

Г. Е. Брикач

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

В настоящее время в экономике наиболее активно используются методы прогнозирования, которые в основном базируются на анализе временных рядов, которые явно включают время. Однако известно, что такие основополагающие законы рыночной экономики, как, например, ценообразование в условиях конкуренции, в своей основе явно не имеет временных показателей.

Кроме того, в настоящее время в экономических исследованиях активно используется имитация в широком диапазоне задач. Имитационное моделирование (simulation) является одним из мощнейших методов анализа экономических систем, в том числе он эффективен в решении задач прогнозирования.

В данной работе показано, как можно используя доступные отчетные данные, которые можно отнести к типу «затраты–выпуск», преобразовать их с помощью трендового анализа, таким образом, чтобы получить автономную имитационную прогнозную модель, базирующуюся на основном правиле совершенной конкуренции $ATC = MC = MR$. Отчетные данные берутся в динамике за последние 3–5 лет.

Фрагмент выходных данных имитационной прогнозной модели

Объем производства тыс. шт.	ATC, р./шт.	MC, р./шт.	Общие затраты, тыс. р.	Выручка, тыс. р.	Убыток/прибыль, тыс. р.	Рентабельность продаж, %
48,0	417,5	397,8	20038,2	24000,0	3961,8	16,5
49,0	417,1	402,6	20438,3	24500,0	4061,7	16,6
50,0	416,9	407,4	20843,3	25000,0	4156,7	16,6
51,0	416,7	412,2	21253,2	25500,0	4246,8	16,7
Объем производства, при котором обеспечивается Парето эффективное использование ресурсов ($ATC = MC$)						
51,9	416,7	416,6	21626,1	25950,0	4323,9	16,7
52,9	416,7	421,4	22045,1	26450,0	4404,9	16,7
53,9	416,9	426,3	22469,0	26950,0	4481,0	16,6
54,9	417,1	431,1	22897,6	27450,0	4552,4	16,6
56,9	417,7	440,7	23769,5	28450,0	4680,5	16,5
Объем производства, при котором достигается максимальная прибыль						
69,2	427,1	500,2	29556,0	34600,0	5044,0	14,6

В таблице приведены табулированные значения, которые были получены на основе уравнений корреляции с помощью процедуры «Трендовый анализ» в Excel и которые показывают значения возможных объемов производства продукции в будущем с соответствующими им уровнями затрат, продаж и прибыли на предприятии.

Прогнозирование в динамике возможных объемов производства продукции можно осуществлять как в сторону их повышения, так и снижения объемов производства. Приведенные табулированные данные в таблице считались, как имитационная модель прогнозирования с характером как оптимистического (повышение объемов производства), так и пессимистического (снижение объемов производства) с оценкой возможного уровня общих затрат, выручки и прибыли в будущем. Зависимость характера прогноза определяется наличием и содержанием менеджмента на предприятии ООО «МОТО-ВЕЛО» и его возможным положением на рынке продаж продукции в будущем.

УДК 622.276

**КРАТКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ
ГИДРОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНАЯ КУРНА-2 (ИРАК)**

В. Д. Порошин

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

Гидрохимический мониторинг как один из прикладных методов по контролю разработки нефтяных залежей и эксплуатации добывающих скважин позволяет получать по минимальному набору гидрогеохимических данных информацию о протекающих в пластах процессах вытеснения нефти, сроках начала обводнения продукции, скоростях и направлениях передвижения флюидов и причинах солеотложения на оборудовании.

Большинство таких задач решаются с помощью гидрохимического метода на второй и более поздних стадиях разработки нефтяных залежей. На начальном этапе разработки (на которой находится данное месторождение) основное внимание уделяется вопросу обводненности скважин.

Прогноз времени обводнения продукции добывающих скважин – один из наиболее важных вопросов, возникающих при контроле разработки нефтяных месторождений и добыче нефти. Для его решения применяются два подхода, основанные на использовании сведений о содержании хлоридных солей в нефти и ее плотности в период безводной эксплуатации скважин.

К настоящему времени установлено, что обводнение скважин начинается раньше, чем оно фиксируется по промысловым отчетам. Эта стадия обводнения (доли – первые единицы процентов) выражается в постепенном росте концентрации хлоридных солей в нефти, контролируемом по содержанию хлора, и свидетельствует о начальном поступлении небольших порций пластовых или закачиваемых вод, являющихся предвестником последующего обводнения продукции. Существует и широко применяется в Беларуси количественный метод прогноза начала обводнения скважин, учитывающий зависимость концентраций хлоридов в нефти от расстояния от забоя скважины до ВНК, текущего дебита, коллекторских свойств пород, депрессии на пласт. Так, ряд белорусских месторождений в период роста содержания хлоридных солей в нефти снижал отборы или временно останавливал работу скважин, что позволило продлить безводный период и достичь более высокой выработки запасов на скважину, чем по другим месторождениям, а также увеличить КИН по регулируемым залежам. Кроме отмеченных особенностей установлено, что перед началом обводнения скважин отмечается рост плотности добываемой нефти, что

обычно связывается с частичным поступлением ее более тяжелых фракций с ВНК, а также позволяет делать прогноз времени поступления в скважину пластовой, реже закачиваемой воды.

В связи с вышеизложенным на начальной стадии разработки месторождения Западная Курна-2 рекомендуется организовать еженедельный отбор поверхностных проб нефти из всех добывающих скважин и оперативное определение их плотности и содержания хлор-ионов. При существенном увеличении значений этих показателей периодичность отбора и исследования проб необходимо увеличить до 3–7 проб в неделю. Кроме того, рекомендуется организация мониторинга объемов и состава применяемых в скважинах технологических жидкостей (фильтраты буровых растворов, жидкости глушения, промывки, растворы соляной и других кислот и т. д.), что позволит отбраковать непредставительные сведения по плотности нефтей и содержанию в них хлоридных солей, а также повысит достоверность прогноза сроков обводнения скважин пластовыми или закачиваемыми водами. В случае появления в нефти заметного количества воды (более 5–10 %) следует организовать проведение шестикомпонентного ее состава, а также определение брома в целях установления ее природы.

С началом работы системы ППД на залежи рекомендуется проводить периодическое исследование плотности и состава закачиваемых вод, частота отбора проб которых будет зависеть от постоянства их состава. При появлении в продукции скважин значительного количества пластовых, закачиваемых вод и их смесей, исследования по изучению плотности нефти и содержанию в ней хлоридных солей следует прекратить. Для проведения дальнейших работ необходима разработка детальной программы проведения гидрохимического мониторинга на залежи с определением плотности попутных вод (не реже 1 раза в неделю) и их шестикомпонентного химического состава (примерно раз в квартал). Дополнительно в этих пробах необходимо определять содержание брома, что повысит достоверность выдаваемых заключение о природе попутно добываемых вод. В программе необходимо предусмотреть дополнительный отбор проб в зависимости от первоочередных стоящих задач по контролю разработки залежей.

СЕКЦИЯ VII. ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 539.3

МАЛЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЦЕНТРИФУГИ НА НЕЛИНЕЙНО УПРУГИХ ОПОРАХ

А. Е. Бабенко, Я. И. Лавренко, А. А. Грехнев

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

В существующих работах при изучении движения центрифуги в первом приближении считается, что опоры являются жесткими, а центрифуга рассматривается как вращающееся тело, закрепленное на гибком стержне, или вращающееся тело, закрепленное на жестком стержне, опирающемся на линейно-упругие опоры. В то же время в современных лабораторных центрифугах опоры, как правило, представляют собой резиновые цилиндры.

Ввиду этого опоры являются нелинейно упругими причем с мягкой характеристикой при малых деформациях. В данной работе рассматривается второй вариант, т. е. жесткий стержень с массой, закрепленной на нелинейно упругих опорах. При таком подходе реактивный момент в опоре, в первом приближении, может быть аппроксимирован зависимостью

$$M_r = c + d\varphi,$$

где φ – угол поворота стержня относительно положения равновесия.

Для решения задачи можно использовать методы теории нелинейных колебаний.

В данной работе предполагается, что нелинейность является малой и в соответствии с этим член $d\varphi$ является малым. Анализ движения центрифуги показывает, что при $d > 0$, какие-либо существенные отличия в колебаниях по сравнению с линейными отсутствуют.

При $d > 0$, т. е. при мягкой характеристике в характере движения, могут возникать существенные отличия от линейных.

Эти отличия наиболее явно видны по фазовым траекториям (рис. 1, а), которые показывают, что при мягкой характеристике возможно возникновение «петли» в области максимальных амплитуд (рис. 1, б).

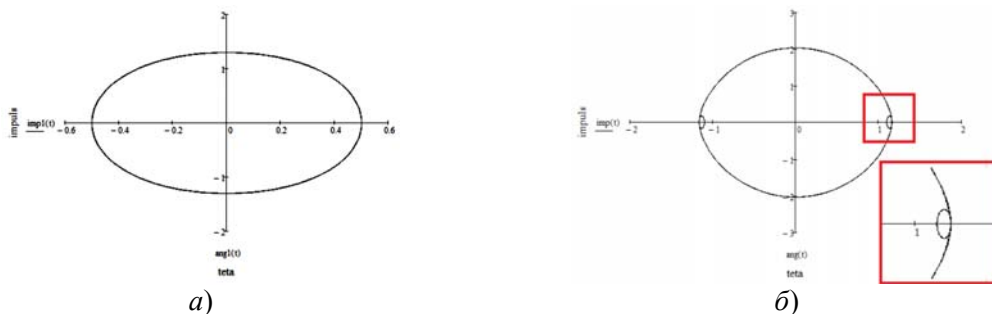


Рис. 1. Фазовые траектории системы:
а – жесткая характеристика; б – мягкая характеристика

Обнаруженное изменение фазовой траектории показывает, что при дальнейшем увеличении амплитуды возможна потеря устойчивости.

УДК 531.8

**МАТРИЧНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ СФЕРИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА****А. В. Локтионов, А. В. Лемницкая***Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет», Республика Беларусь*

Существуют различные методы расчетов геометрических, кинематических и силовых параметров исполнительных механизмов. Анализом установлено, что наиболее простые методы расчета следует использовать для механизмов, работающих в плоских системах координат. Векторный метод расчета целесообразно применять для механизмов, звенья которых расположены в одной плоскости. Установлено, что векторный метод достаточно сложен и неприменим для пространственных схем размещения звеньев механизма. При таком методе расчета определяются проекции звеньев на неподвижные оси координат и векторов скорости и ускорения на эти оси. Предложены формулы для расчета кинематических характеристик исполнительного механизма, совершающего сферическое движение. Рекомендовано сравнить методику их расчета с использованием углов Эйлера и матричным методом.

Рассмотрим кинематические параметры исполнительного механизма, совершающего сферическое движение. На головке исполнительного механизма выберем точку M . Для задания ее положения относительно неподвижной системы координат следует задать положение подвижной системы координат относительно неподвижной. Для этой цели используем углы Эйлера, три независимых параметра – углы прецессии, нутации и собственного вращения. При сферическом движении для определения проекций скорости точки на подвижные и неподвижные оси координат используются кинематические уравнения и формулы Эйлера. Для расчета проекций скорости точки на подвижные оси координат, начало которых связано с движущейся точкой, проекции скорости рассматриваются как координаты точки, принадлежащей к годографу вектора скорости. Используя формулы поворота координатных осей, получим искомые расчетные формулы для определения проекций вектора скорости на оси координат, связанных с движущейся точкой.

При матричном методе расчета кинематических характеристик исполнительного механизма рассматриваются координаты точки в неподвижной системе координат и выражаются через координаты этой точки в подвижной системе координат. Дифференцированием текущих координат определяются проекции скорости точки на неподвижные оси координат. С использованием транспонированной матрицы определяются проекции скорости точки на подвижные оси координат. Модуль скорости рассчитывается по известной формуле, а направление определяется направляющими косинусами. При составлении матрицы используются углы прецессии, нутации и собственного вращения. Такая методика расчета кинематических характеристик пространственного исполнительного механизма компактна, сравнительно проста и более универсальна по сравнению с исследованием кинематических характеристик механизма при его сферическом движении. Установлено, что расчет кинематических характеристик матричным методом значительно проще по сравнению с использованием расчетных формул при сферическом движении исполнительного механизма.

УДК 531.8

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА
МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА****А. В. Локтионов, С. В. Рубик***Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет», Республика Беларусь*

Анализом работ по составлению дифференциальных уравнений гармонических колебаний эллиптического маятника, состоящего из ползуна, шарика и стержня, установлено, что не произведены исследования по расчету малых колебаний маятника с заданной начальной угловой скоростью его движения. При этом преимущественно используется координатный способ задания движения ползуна и шарика [1].

Методология проведения работы заключается в сравнительной оценке методов расчета уравнения движения малых колебаний эллиптического маятника, использовании аналитического метода исследований малых колебаний маятника с учетом его момента инерции, рассмотрении сложного движения эллиптического маятника с заданной начальной угловой скоростью его движения.

С учетом принятых начальных условий получены уравнения движения ползуна и малых колебаний маятника. Установлено, что расчетная формула, определяющая закон движения малых колебаний эллиптического маятника с учетом момента инерции, имеет громоздкий вид. Последняя объясняется тем, что центр масс шарика не совпадает с осью подвеса и усложняется формула по расчету кинетической энергии маятника, а следовательно, и системы в целом.

Если шарик принять за материальную точку, участвующую в сложном движении, то значительно упрощаются решения уравнения Лагранжа и уравнение, выражающее закон движения малых колебаний эллиптического маятника заданной начальной угловой скоростью его движения. При исследовании малых колебаний эллиптического маятника с различными начальными условиями следует рассматривать сложное движение шарика и не использовать при расчетах момент инерции шарика относительно точки его подвеса [2].

Предложен кинестатический метод расчета уравнения движения малых колебаний маятника с заданной начальной угловой скоростью его движения. При этом использована основная форма условий равновесия рассматриваемой механической системы, состоящей из ползуна, шарика и стержня, и принято, что на маятник действуют силы тяжести ползуна и шарика. Для расчета реакции ползуна составлена расчетная схема. Принцип Даламбера использован применительно и к ползуну. Получены уравнение свободных колебаний маятника и закон движения ползуна в зависимости от времени и заданной начальной угловой скорости вращения маятника.

В качестве прогнозных предположений следует получить дифференциальное уравнение гармонических колебаний эллиптического маятника с использованием аналитического метода расчета относительного движения шарика для рассматриваемой механической системы.

Литература

1. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики : учеб. для вузов / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – СПб. : Лань, 2006. – 736 с.
2. Локтионов, А. В. Расчет уравнения малых колебаний при сложном движении эллиптического маятника / А. В. Локтионов // Теорет. и прикладная механика. Междунар. науч.-техн. журн. – Минск : БНТУ, 2014. – № 29. – С. 290–293.

УДК 539.4:621.6

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ИЗ КОМПОЗИТА ПРИ ВДАВЛИВАНИИ УПРУГОГО ШАРА

В. В. Можаровский, Д. С. Кузьменков, Т. М. Демова

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

Для исследования деформативности и прочности элементов конструкций автомобилестроения из композитов исследуются задачи контакта тел из волокнистых композитов на основе теории упругости анизотропного тела с целью дальнейшей разработки теории контактной деформации слоистых оснований с учетом силовых полей.

Рассмотрена задача о нахождении параметров контакта для покрытия из композита при вдавливании упругого шара. Моделируется покрытие из композита в виде трансверсально-изотропного материала. Решение задачи сводится к асимптотическому решению интегрального уравнения типа [1]:

$$\iint_{\Omega} G_3(x_1 - y_1, x_2 - y_2, 0) p(y) dy = w - \Phi(x_1, x_2).$$

Согласно [2], строим алгоритм и методику расчета параметров контакта (ширину зоны контакта, давление и глубину вдавливания), используя асимптотический подход. По аналитическим зависимостям численно вычисляем интегралы, определяем все необходимые данные для коэффициентов в асимптотических формулах. Далее, используя найденные коэффициенты, определяем ширину зоны контакта, давление, глубину вдавливания.

Программная реализация и результаты. Был разработан алгоритм и создана программа, реализующая определение параметров контакта для покрытия из композита при вдавливании упругого шара. Программа по заранее определенному алгоритму определяет для исходной задачи ширину зоны контакта, глубину вдавливания, приближение для P , давление $P(r)$ и выводит результаты в виде таблицы (рис. 1), по нажатию на клавишу «график» будет построен график зависимости $P(r)$ от r .

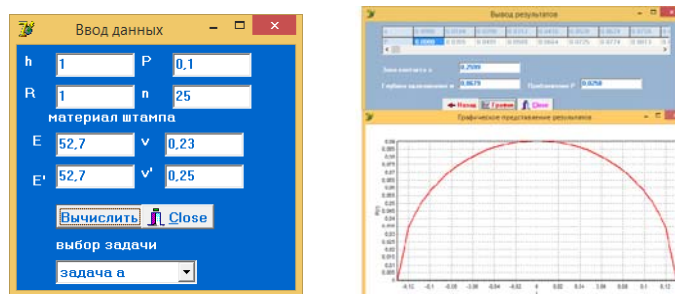


Рис. 1. Исходные данные. График зависимости $P(r)$ от r

Литература

1. Argatov, I. I. Depth-sensing indentation of a transversely isotropic elastic layer / I. I. Argatov // International Journal of Solids and Structures. – 2011. – № 48. – P. 3444–3452.
2. Можаровский, В. В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Минск : Наука и техника, 1988. – 290 с.

УДК 539.4:621.6

РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБ ИЗ КОМПОЗИТОВ

Е. А. Голубева, В. В. Можаровский

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

Целью работы является создание алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния слоистых труб из композитов на основе математической модели, которая включает сбор данных, физико-механические свойства материалов, граничные условия, аналитические формулы расчета на основе теории упругости анизотропного тела и другие компоненты.

Программная реализация и расчет. Реализован программный модуль в среде Delphi в виде некоторых примеров, в котором представлена реализация расчета напряженно-деформированного состояния слоистых труб из композиционных материалов под действием давления (рис. 1).

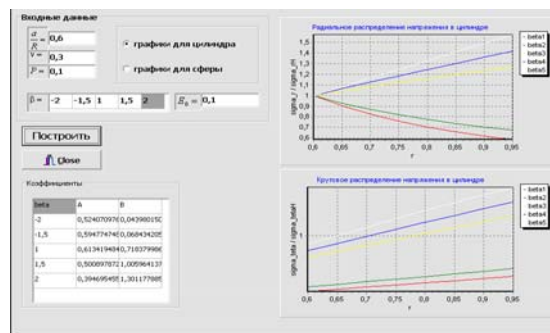


Рис. 1. Пример расчета радиальных и круговых распределений напряжений в цилиндре

В программном модуле осуществляется сравнение результатов, полученных при расчете напряженно-деформированного состояния слоистых труб из композитов методом конечных элементов [1] и решения задачи типа Ламе. Разработанный программный модуль позволяет видоизменять характеристики слоистых труб из композитов и показывает возможность их оптимального выбора.

На основе новых информационных технологий построены математические модели и алгоритмы задачи подбора материала для слоистых труб из композитов с целью реализации при заданных технических характеристиках требуемой конструкции: геометрические характеристики конструкции; эксплуатационные характеристики: среда эксплуатации, рабочее давление, коэффициент запаса прочности и т. д. Проведено практическое применение в виде автоматизированной методики для определения и анализа физико-механических свойств материалов труб с ППУ-изоляция и оболочки ПИ-труб.

Предлагаемые подходы могут быть использованы в производственных процессах.

Литература

1. Можаровский, В. В. Реализация розрахунку напружень багатосарових труб / В. В. Можаровский, Д. С. Кузьменков // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки. – 2015. – № 5. – С. 173–178.

УДК 621.793.092

**УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ
ПРИ СОЗДАНИИ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО
СОВМЕСТНОЙ ВЫТЯЖКОЙ****М. И. Лискович, И. И. Стех***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Свойства любых металлопорошковых изделий и покрытий существенно зависят от их плотности и пористости, которые в свою очередь зависят от давления прессования.

Процесс прессования порошков является сложным процессом упруго-пластического деформирования огромного числа частиц, при котором и относительное расположение частиц, и картина их упругого взаимодействия непрерывно изменяются.

Рядом авторов предложены различные математические уравнения, характеризующие процесс прессования [1], [2]. Наиболее часто применяется уравнение М. Ю. Бальшина [3].

Общее число уравнений прессования, приведенных разными авторами для разных типов порошков и процессов прессования, исчисляется несколькими десятками.

Все они чаще всего были получены эмпирически, путем математической обработки экспериментальных зависимостей, поэтому они могут с достаточной степенью точности описывать процесс прессования лишь тех порошков и при тех условиях прессования, для которых они были получены.

Поэтому для нового способа изготовления полых композиционных изделий совместной вытяжкой покрытия и основы [4], разработанного в ГГТУ им. П. О. Сухого, было необходимо получить уравнение прессования, которое с удовлетворяющей точностью описывало бы его.

Наиболее обстоятельно напряженное состояние при вытяжке листового металла в различных участках очага деформации изучено Е. А. Поповым [5], [6]. В приведенную им методику и расчетные зависимости были внесены дополнения и видоизменения таким образом, чтобы сделать возможным учет влияния процесса деформации порошкового материала на процесс деформации основы.

По полученной формуле были рассчитаны значения усилия совместной вытяжки, которые сравнивались с экспериментальными значениями, полученными при нанесении покрытия на полые стальные заготовки.

Сравнение расчётных и опытных значений свидетельствует о том, что проведенное теоретическое исследование силовых параметров процесса совместной вытяжки металлической основы и металлопорошкового покрытия позволило получить пригодную для практического применения расчетную зависимость величины усилия совместной вытяжки от основных параметров процесса.

Л и т е р а т у р а

1. Раковский, В. С. Порошковая металлургия в машиностроении / В. С. Раковский, В. А. Саклинский. – М. : Машиностроение, 1973. – 126 с.
2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / под ред. Б. С. Митина. – М. : Металлургия, 1987. – 791 с.
3. Бальшин, М. Ю. Порошковая металлургия / М. Ю. Бальшин. – М. : Metallurgizdat, 1948. – 332 с.

4. Способ изготовления полого композиционного изделия: пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В21D 22/20, В22F 3/10 / Стрикель Н. И., Бобарикин Ю. Л., Лискович М. И. ; заявитель ГГТУ им. П. О. Сухого ; заявл. 16.05.2005 ; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4 (63). – С. 153.
5. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 420 с.
6. Попов, Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.

УДК 62-229.316.6

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

С. А. Щербаков

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

Существующие методики, посвященные данному вопросу, в учебниках и справочниках предлагают искать решение из условия равновесия заготовки под действием силовых факторов. Поэтому кажется, что решение всегда можно найти, составив систему из шести линейных уравнений, задающих условия равновесия системы сил. Но реальные задачи отличаются от учебных по «Теоретической механике» тем, что решений может быть бесконечно много, как из-за того, что число неизвестных может быть больше шести, так и из-за возможного множества решений даже для единственной системы линейных уравнений. Поэтому на практике часто встает проблема многократного поиска оптимального решения из множества допустимых, с которой нелегко справиться особенно тем, кто столкнулся с ней впервые. Опыт решения таких проблем привел к следующему алгоритму решения:

1. На основании схемы установки заготовки на операционном эскизе построить схему сил, действующих на заготовку при обработке для «наихудшего» случая сочетания силовых и размерных факторов, приводящего к нарушению ее неподвижности. Направления сдвигающих сил (резания, инерции, силы тяжести) принимают для этого «наихудшего» случая обеспечения неподвижности заготовки. Такой случай может быть неочевидным однозначно. Тогда рассматривают несколько и выбирают «наихудший».

2. Определить максимально допустимые точностью обработки значения необходимых усилий закрепления заготовки ($Q_{\max i}$), так как чем больше значения усилий закреплений и реакций опор, тем больше деформации и погрешности закрепления и обработки заготовки.

3. 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. Если схемы совпадают, то расчет по формулам необходимых сил закрепления (Q_i) и переход на 5-й пункт алгоритма.

4. Если схема действующих на заготовку сил не совпадает ни с одной из схем, не совсем совпадает или совпадает, но есть сомнения в правильности полученного значения силы закрепления, при анализе результата, то следует определить оптимальные (минимально-допустимые) значения расчетных сил закрепления (W_i). Для этого следует составить уравнения моментов, в которых сдвигающие силы создают наибольшие моменты относительно опор. А останавливающие заготовку силы (силы

закрепления, реакции опор и трения) противодействуют этим моментам. При превышении числом неизвестных сил количество уравнений моментов следует присвоить некоторым реакциям конкретные значения (обычно, равные нулю). Возможны случаи, когда заготовку гарантированно удерживают только реакции и силы трения опор, тогда силы закрепления принимают равными нулю, как, например, при протягивании отверстий.

5. Полученные значения и направления сил закрепления Q_i , W_i и реакций опор следует проанализировать, так как результаты могут оказаться противоречащими здравому смыслу. Например, они могут быть слишком большими или отрицательными. Затем значения расчетных сил закрепления W_i следует умножить на соответствующие условиям обработки коэффициенты запаса (K_i) и сравнить их произведение с $Q_{\max i}$.

6. Если $0 \leq W_i K_i \leq Q_{\max i}$, то задача решена. В противном случае следует уменьшить значения сдвигающих сил (изменить режимы обработки для уменьшения сил и моментов резания) и снова выполнить п. 3–5, т. е. повторно определить расчетные и необходимые силы закрепления, до удовлетворения условиям приведенного выше неравенства.

УДК 621.762

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОРРОЗИИ ПРИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

А. Т. Бельский, А. В. Сакович

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

Наиболее надежным способом оценки коррозионной стойкости металлического покрытия в заданной среде являются испытания в естественных условиях. Однако защитные покрытия довольно эффективно выполняют свои функции защиты от коррозии, и период разрушения в этих условиях становится слишком длительным. Для моделирования процесса атмосферной коррозии в лабораторных условиях использовали гидростат Г-4.

Испытанию на коррозионную стойкость подвергались покрытия, которые были получены из порошкового материала на длинномерном изделии в процессе его волочения. Длинномерное изделие протягивали через волочильный инструмент, в рабочий конус которого подавался порошковый материал. Активными силами трения порошок увлекался проволокой в деформационную зону волоки, где происходили деформации как частиц порошка металла покрытия, так и длинномерного изделия. Весь комплекс физико-химических явлений, происходящих как внутри порошкового покрытия, так и на поверхности проволоки, приводит к получению соединения в твердой фазе.

При испытании полученных покрытий преследовалась двойная цель: определение поведения данной системы покрытия в конкретной коррозионной среде и выявление дефектов защитного слоя.

Образцы в виде стержней после соответствующей обработки испытывали на коррозионную устойчивость в условиях умеренного климата. Для этого образцы устанавливали в камере гидростата, прогревали их до определенной температуры и создавали необходимую влажность воздуха.

После проведения испытаний определяли коррозионные потери веса ΔG_k , а затем рассчитывали скорость коррозии V_k и скорость ее проникновения Π по зависимостям:

$$V_k = \frac{\Delta G_k}{St}; \quad \Pi = \frac{V_k \cdot 10^{-3}}{\rho},$$

где S – поверхность образца, m^2 ; t – время испытания, год; ρ – плотность металла, $г/см^3$.

При изучении влияния степени деформации при нанесении покрытия из металлических порошков на скорость проникновения коррозии, было установлено, что с увеличением степени деформации скорость проникновения коррозии уменьшается. На рис. 1 представлена зависимость скорости проникновения коррозии от логарифмической степени деформации оловянного порошка на медной проволоке.

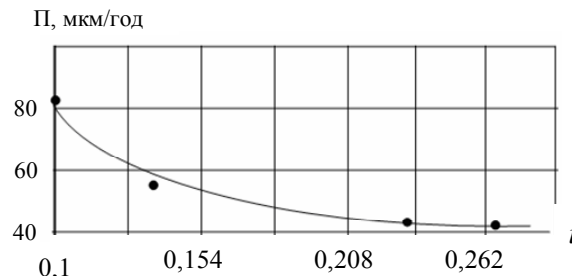


Рис. 1. Зависимость скорости проникновения коррозии от логарифмической степени деформации оловянного порошка на медной проволоке

При проведении лабораторных испытаний было установлено, что наименьшая скорость проникновения степени коррозии имеет место при использовании покрытия из цинкового порошка, которая уменьшается с увеличением его дисперсности.

Литература

1. Шлугер, М. А. Коррозия и защита металлов / М. А. Шлугер, Ф. Ф. Ажогин, Е. А. Ефимов. – М. : Металлургия, 1981. – 216 с.

УДК 534.112

РЕШЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИСА

А. С. Кравцов, В. Ю. Гавриш

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

В докладе представлена методика решения краевых задач математической физики в системе Mathematica: авторы демонстрируют решение уравнения колебания струны с последующим его графическим изображением.

Хорошо известно, что решение задач в частных производных, таких как, к примеру, колебания струны [1]:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} U(x, t) = a^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} U(x, t)$$

даже в простейших случаях начальных и граничных условиях, отнюдь нетривиально и требует определенных методов (см. детальный обзор в [2], [3]). Однако с развитием компьютерной техники решение данных задач стало возможно численно, что значительно упрощает процесс решения.

Авторы, используя оператор *NDSolve* [4], получают численные решения уравнения колебаний струны для различных начальных и граничных условий. В результате по полученной таблице сеточной функции в пакете Mathematica строится поверхность, изображающая полученное приближенное решение.

В качестве примера авторами построено решение краевой задачи для граничных условий первого рода (рис. 1).

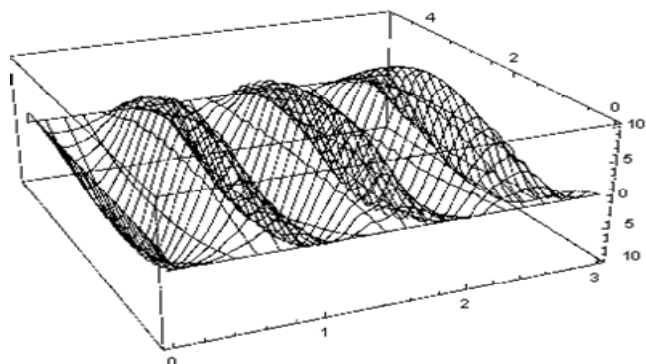


Рис. 1. Графическое изображение решения уравнения

Литература

1. Несис, Е. И. Методы математической физики : учеб. пособие для студентов / Е. И. Несис. – М. : Просвещение, 1977. – 199 с.
2. Шалдырван, В. А. Методы математической физики : учеб. пособие / В. А. Шалдырван, В. С. Герасимчук. – М. : Вуз. кн., 2006. – 512 с.
3. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – М. : Наука, 1967. – 436 с.
4. Дьяконов, В. П. Mathematica 5/6/7. Полное руководство / П. В. Дьяконов. – М. : ДМК-Пресс, 2009. – 622 с.

УДК 532.516

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ РЭЛЕЯ НА ВЯЗКОУПРУГОЕ ТЕЧЕНИЕ КУЭТТА

И. А. Концевой, А. М. Жуковский

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

Сила трения Рэлея $F = -\zeta \mathbf{v}$ дает возможность моделировать широкий круг термогидродинамических явлений, представляющих практический интерес: периодические течения в тонких слоях жидкости, вихревые структуры в задачах промышленной экологии и прикладной геофизики. Здесь \mathbf{v} – вектор скорости жидкости; ζ – коэффициент сопротивления. Такая модель сопротивления оказалась также эффективной в задачах теплообмена при кристаллизации полупроводников в ус-

ловиях орбитального полета [1]. Основная идея этого подхода состоит в том, что гидродинамическое описание расплава вблизи фазовой границы учитывает наличие кластерных образований, которые вызывают сопротивление течению. В большинстве известных работ по этой проблеме применялся линейный вариант силы трения: $\zeta = \text{const}$. Здесь мы учитываем нелинейность внешнего сопротивления в неизотермических условиях. Полагаем, что коэффициент сопротивления зависит от температуры T , монотонно растет при увеличении $|v|$ и является четной функцией скорости:

$$\zeta = \zeta(v^2, T), \quad \partial\zeta / \partial(v^2) > 0.$$

Данная работа продолжает исследования [2], [3] и имеет целью изучить количественные характеристики воздействия нелинейной силы сопротивления на завихренность вязкоупругой жидкости. Выполнен подробный анализ плоского двумерного стационарного сдвигового течения Куэтта для вязкоупругой жидкости Яумана. Две основные серии расчетов проведены для коэффициентов сопротивления, обладающих тепловыми свойствами вида $\partial\zeta / \partial T < 0$ и $\partial\zeta / \partial T > 0$. Детально рассмотрены свойства течения в «горячей» области $T > T_0$, $\varepsilon^2 < 1$ и в «холодной» области $0 < T < T_0$, $\varepsilon^2 > 1$. Здесь T_0 – отсчетное значение температуры; ε^2 – параметр решения, характеризующий неизотермичность процесса. Если $\varepsilon^2 = 1$, то течение изотермическое. В результате расчетов получены функциональные связи между безразмерными параметрами течения при различных значениях времени релаксации вязких напряжений. Установлены новые закономерности поведения завихренности в неизотермических условиях.

На рис. 1, а представлен пример корреляции «скорость–температура» для «горячей области»; каждая такая линия является окружностью; на рис. 1, б показана зависимость квадрата радиуса этой окружности от параметра ε^2 .

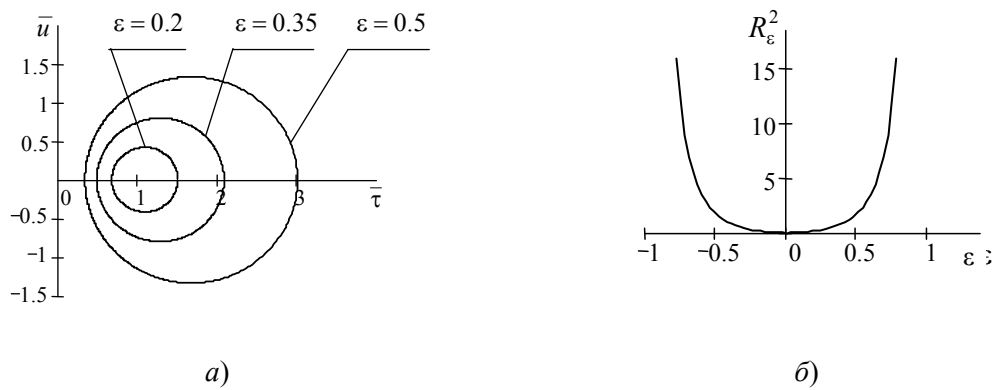


Рис. 1

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергетические системы, процессы и технологии». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

Литература

1. Кластерная модель структуры расплавов в погранслое и ее гидродинамическое описание при моделировании процессов кристаллизации полупроводников в космосе / А. В. Картавых [и др.] // Поверхность. Рентгенов., синхротрон. и нейтрон. исслед. – 2004. – № 6. – С. 91–98.

2. Шабловский, О. Н. Тригонометрический профиль скорости сдвигового течения вязкой жидкости / О. Н. Шабловский // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер. Математика. Механика. Физика. – 2011. – Вып. 5. – № 32 (249). – С. 77–82.
3. Шабловский, О. Н. Гидродинамические и тепловые аспекты кластерной модели структуры расплава. Ч. 2. Два типа температурной зависимости силы сопротивления кластерных образований / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль, И. А. Концевой // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та имени П. О. Сухого. – 2016. – № 2. – С. 65–73.

УДК 004.942:539.12

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ И ПЛАНИРУЕМЫХ АДРОН-АДРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРОВ К ЭФФЕКТАМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Р. Р. Апасов, А. В. Цитринов

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

Одной из основных задач современных и планируемых коллайдеров является поиск эффектов, предсказываемых моделями новой физики, выходящих за рамки Стандартной модели элементарных частиц [1]. Одним из возможных сценариев выхода за рамки Стандартной модели является модель Аркани-Хамеда–Димопулуса–Двали (АДД модель) с дополнительными пространственными измерениями [2].

В представленной работе создана имитационная модель для процесса рождения электрон-позитронных пар в протон-протонных столкновениях с учетом эффектов обмена виртуальными состояниями Калуцы–Кляйна в модели АДД. Описание виртуального обмена гравитонными башнями в рассматриваемом процессе и использованные в анализе статистические методы более детально рассмотрены в работе [3]. На основе разработанной модели получены оценки ограничений на параметры гравитонных башен (рис. 1) в условиях экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК) [4] и на планируемом китайском суперколлайдере (КСК) [5].

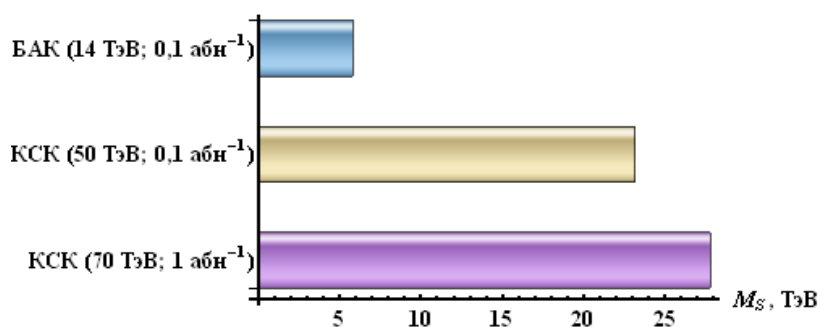


Рис. 1. Оценки ограничений на параметр M_S (в ТэВ) АДД модели на БАК и КСК

Как видно из результатов анализа, представленного на рис. 1, планируемый китайский супер коллайдер сможет открыть новую эру в области поиска эффектов, выходящих за рамки Стандартной модели элементарных частиц, и обладает чувствительностью к эффектам дополнительных пространственных измерений, в 4–5 раз превышающей возможности Большого адронного коллайдера.

Литература

1. The Review of Particle Physics / K. A. Olive [et al.] // Chinese Physics C. – 2014. – Vol. 38. – P. 90001.
2. Arkani-Hamed, N. Phenomenology, astrophysics and cosmology of theories with sub-millimeter dimensions and TeV scale quantum gravity / N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. R. Dvali // Physical Review D. – 1999. – Vol. 59. – P. 086004.
3. Поиск и идентификация эффектов Больших пространственных измерений в процессах рождения лептонных и фотонных пар на Большом адронном коллайдере / А. А. Панков [и др.] // Ядерная физика. – 2015. – Т. 78. – № 6. – С. 499–513.
4. LHC Design Report / O. S. Brüning [et al.]. – Geneva : CERN, 2004. – 548 p.
5. Gibney, E. China plans super collider / E. Gibney // Nature. – 2014. – Vol. 511. – P. 394–395.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

**Тезисы докладов
XI Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные П. О. Сухому)**

Гомель, 20–21 октября 2016 года

Ответственный за выпуск *Н. Г. Мансурова*

Редакторы: *Н. В. Гладкова, А. В. Власов, Т. Н. Мисюрова*

Компьютерная верстка: *Н. Б. Козловская, Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 14.10.16

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 26,50. Уч.-изд. л. 20,18.

Тираж 78 экз. Заказ № 307/103.

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