

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УчРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. О. СУХОГО»  
ОАО «Компания «Сухой»

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ**

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

*Гомель, 23–24 октября 2014 года*

**Гомель**  
**ГГТУ им. П. О. Сухого**  
**2014**

УДК 621.01(043.2)

ББК 34.4

C56

Редакционная коллегия:

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

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

C56 **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. – 136 с.

ISBN 978-985-535-232-8.

Представлены новейшие результаты научных исследований в области динамики, прочности и надежности машин; материаловедения и технологии обработки материалов; моделирования процессов, автоматизации конструирования и проектирования машин; приборов и систем автоматического управления; энергосберегающих технологий; современных методов организации машиностроительного производства.

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

**УДК 621.01(043.2)**

**ББК 34.4**

**ISBN 978-985-535-232-8**

© Оформление. Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Кузнецов Ю. Н.</i> Генетико-морфологический подход к созданию антропогенных систем на примере станков.....	7
<i>Бобарикин Ю. Л., Верещагин М. Н.</i> Теоретические и технологические основы повышения эффективности производства ультравысокопрочного металлокорда .....	11

## Секция А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

<i>Коваль В. В.</i> Оценка долговечности элементов конструкций в условиях малоциклового нагружения с учетом поврежденности .....	15
<i>Бабенко А. Е., Боронко О. А.</i> Вычислительный комплекс определения динамических характеристик элементов машиностроительных конструкций.....	16
<i>Бабенко А. Е., Боронко О. А., Трубачев С. И.</i> Метод расчета динамических характеристик многослойных конструкций.....	17
<i>Бабенко А. Е., Лавренко Я. И.</i> Экспериментальное определение спектра собственных частот центрифуги .....	18
<i>Шалупина П. И.</i> Выбор конструктивной схемы двухосной тележки поезда-трамвая.....	19
<i>Грабовский А. П., Бондарец А. А.</i> Модели залечивания микроповреждений при обратном осевом нагружении и сдвиге.....	20
<i>Голуб В. М.</i> Исследования и основы расчета торцовых уплотнений валов гидромашин .....	21
<i>Голуб В. М., Голуб М. В.</i> Абразивное изнашивание торцовых уплотнений.....	22
<i>Лустенков М. Е., Фитцова Е. С., Пугач В. Ю.</i> Сравнительный анализ планетарной зубчатой передачи и передачи с промежуточными телами качения .....	23
<i>Котов С. Ю., Беляев Г. Я.</i> Влияние вакуумно-плазменного упрочнения сферических подложек покрытием ZrN на время возникновения первых очагов коррозии.....	24
<i>Котов С. Ю., Беляев Г. Я.</i> Влияние вакуумно-плазменного упрочнения тел качения покрытием ZrN на изменение спектра виброскорости подшипников во время эксплуатации.....	25
<i>Таригов Г. П., Комраков В. В., Бельский А. Т.</i> К решению задач механики трещин с помощью электрического моделирования.....	26
<i>Бельский А. Т., Таригов Г. П.</i> Определение удельного давления в кулачковой паре.....	27
<i>Лаевский Д. В., Стасенко Д. Л., Андреевец Ю. А.</i> Изменение сил, воздействующих на запорно-регулирующие элементы гидроаппаратуры при различных температурах.....	28
<i>Лаевский Д. В., Стасенко Д. Л., Андреевец Ю. А.</i> Влияние сил трения на элементы гидроаппаратуры при различных температурах .....	29

Секция Б. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

<i>Внуков Ю. Н., Гермашев А. И.</i> Методика и устройство для оценки эффективности и точности обработки тонкостенных деталей при концевом фрезеровании.....	32
<i>Казаченко В. П., Попов А. Н., Попова М. А.</i> Электрофрикционное упрочнение землеобрабатывающего инструмента .....	33
<i>Степанкин И. Н.</i> Структурные изменения в высоколегированных сталях при их контактном изнашивании .....	34
<i>Верещагина Л. С., Степанкин И. Н., Поздняков Е. П.</i> К вопросу влияния лазерной обработки на изменение структуры и свойств поверхностных слоев стали Р6М5 .....	35
<i>Лискович М. И.</i> Исследование пористости металлопорошкового покрытия, получаемого при вытяжке полых композиционных изделий .....	36
<i>Хило П. А., Злотников И. И.</i> Опыт разработки расклинивающей жидкости для резки стекла .....	37
<i>Пискунов С. В., Жура А. Ю.</i> Влияние примесных ионов на свойства покрытий, формируемых методом микродугового оксидирования.....	38
<i>Злотников И. И., Хило П. А., Шаповалов В. М.</i> Влияние адсорбционного модифицирования поверхности аморфного диоксида кремния на его свойства.....	39
<i>Шабловский Я. О., Киселевич В. В.</i> Оценка температуры стеклования стеклообразующих веществ ....	40

<i>Панкратов И. А.</i> Напряженно-деформированное состояние прецизионных гравюр чеканочных штампов .....	42
<i>Поздняков Е. П.</i> Сравнительный анализ структуры и свойств карбидных и карбонитридных слоев экономнолегированных конструкционных сталей .....	43
<i>Верещагин М. Н., Кирилук С. И.</i> Особенности электрического спекания аморфных и мелкокристаллических порошков.....	44
<i>Царенко И. В., Банный В. А.</i> Физико-химические особенности формирования полимерных радиопоглощающих материалов .....	45
<i>Фроленков А. С., Царенко И. В., Красюк С. И., Волнянко Е. Н.</i> Термостабильные свойства композиционных полимерных материалов антифрикционного назначения на основе полиамида .....	46
<i>Остриков О. М., Шматок Е. В.</i> Исследование последствий деформационного двойникования монокристалла ферромагнитного сплава Ni <sub>2</sub> MnGa с эффектом памяти формы .....	47
<i>Дробышевская Т. В., Остриков О. М.</i> Напряженно-деформированное состояние, обусловленное наличием единичного двойника в зерне поликристалла различной формы .....	48
<i>Одарченко И. Б., Прусенко И. Н.</i> Комплексная классификационная система параметров качества внутренних поверхностей чугунных отливок.....	49
<i>Одарченко И. Б., Прусенко И. Н.</i> Проблемы управления качеством чугунных отливок.....	50
<i>Агунович И. В., Крижевский И. М.</i> Структура и механические свойства покрытий, полученных газопламенным напылением на основе самофлюсующихся порошковых систем.....	51
<i>Урецкая О. В., Дробышевская Н. Е., Подденежный Е. Н., Бойко А. А., Савкова Т. Н., Кравченко А. И.</i> Получение и люминесцентные свойства люминофорных покрытий на основе легкоплавкого стекла.....	52
<i>Кульгейко М. П., Дмитриченко Э. И.</i> Установка для исследования силовых факторов магнитно-электрического шлифования.....	53
<i>Исмагилова Т. В., Михайлов В. С., Карамова Л. Ф.</i> Перспективы применения нитрата кальция технического качества .....	55

#### Секция В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

<i>Попов Г. М., Горячкин Е. С., Смирнова Ю. Д.</i> Определение характеристик свободной турбины методами вычислительной газовой динамики.....	58
<i>Попов Г. М., Горячкин Е. С., Смирнова Ю. Д.</i> Исследование рабочих процессов компрессора низкого давления с помощью методов вычислительной газовой динамики .....	59
<i>Радин Д. В., Волков А. А.</i> Моделирование характеристик одноступенчатой турбины .....	60
<i>Волков А. А., Радин Д. В.</i> Моделирование рабочего процесса соплового аппарата ГТД.....	61
<i>Локтионов А. В.</i> Оценка методов расчета малых колебаний маятника .....	62
<i>Можаровский В. В., Кузьменков Д. С., Березовская Е. М., Марьяна Н. А.</i> Методика расчета напряженного состояния слоистых трибологических систем из композиционных материалов с учетом функционально-градиентных и термочувствительных свойств.....	63
<i>Кроль Д. Г., Лупеев Ф. А.</i> Неравновесные двухмерные когерентные структуры в материале с «тепловой памятью» .....	64
<i>Петухов А. В.</i> Учет взаимного расположения графических элементов конструкции деталей при автоматизации конструкторско-технологического проектирования.....	65
<i>Концевой И. А., Желдак А. В.</i> Тепловые колебания и волны в среде с нелинейным неоднородным источником энергии.....	66
<i>Концевой И. А.</i> Вынужденные колебания теплового поля высокотемпературного сверхпроводника .....	68
<i>Андреев С. Ф.</i> О построении конформного отображения области с контурным вырезом.....	69
<i>Храбров Д. Е., Мурашко И. А.</i> Методика позиционирования и контроля посещаемости студентов на основании WiFi-сети университета .....	70
<i>Куручка К. С., Стефановский И. Л.</i> Моделирование упругопластических деформаций многопустотных плит .....	71
<i>Куручка К. С., Трубенко Д. Н.</i> Моделирование собственных колебаний диска перекрытия каркасного здания, возникающих под действием внешней нагрузки.....	72
<i>Куручка К. С., Нестереня И. Г.</i> Моделирование изменения температуры в результате деформации тонкой пластины, находящейся под действием динамической нагрузки.....	73

<i>Михайлов М. И.</i> Математическое моделирование топографии цилиндрической поверхности, полученной различными видами обработки .....	75
<i>Трохова Т. А., Попов В. Б.</i> Применение гибридных экспертных систем при автоматизации проектирования сельскохозяйственных машин .....	76
<i>Попов В. Б.</i> Определение закона движения поршня рабочего гидроцилиндра, нагруженного навесной машиной в процессе ее подъема .....	77
<i>Мурашко В. С., Николкин Е. С.</i> Об одном подходе к автоматизированному формированию документации на детали типа «Винт» в AutoCAD .....	78
<i>Ткачев Д. В., Столяров А. И., Селютин А. М., Ткачев В. М.</i> Моделирование гидродинамических процессов при кавитационно-импульсной кислотной обработке нефтедобывающих скважин .....	79
<i>Рюмцев А. А., Кирпиченко Ю. Е.</i> Установка для оценки триботехнических свойств электрофрикционных материалов .....	80
<i>Литвин А. В.</i> Современные методы оценки жесткости зажимных патронов .....	82

#### Секция Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

<i>Мизгайлов В. Н.</i> Синтез радиолокационных волновых экранов и антенн .....	84
<i>Комнатный Д. В.</i> Электростатические разряды на корпус микросхем при ремонте электронной аппаратуры .....	85
<i>Комнатный Д. В.</i> Методика сравнения электромагнитных помеховых импульсов различного происхождения .....	86
<i>Мазаев Н. А., Соленков В. В.</i> К выбору параметров линии электропередачи постоянного тока .....	87
<i>Тодарев В. В., Погуляев М. Н., Селиверстов Г. И.</i> О возможности применения датчиков типа LINETROLL-110 Ем в распределительных сетях напряжением 6–10 кВ для индикации однофазных замыканий на землю. ....	88
<i>Изотов П. П.</i> Уточнение критерия устойчивости фильтров низкой и высокой частоты, построенных по схеме Саллена-Ки, при изменении коэффициента усиления .....	89
<i>Сахарук А. У., Крышнеў Ю. В., Глышчыц Я. А.</i> Система дыстанцыйнага кантролю мікраклімату .....	90
<i>Карпов В. А., Ковалев А. В., Карпов А. В., Черехун В. А.</i> Влияние параметров питающего напряжения электропропорциональных магнитов на их гистерезис .....	91
<i>Ковалев А. В., Карпов В. А., Черехун В. А., Карпов А. В.</i> Система управления электропропорциональным магнитом с датчиком положения на эффекте Холла .....	92
<i>Кухаренко С. Н., Котова Ю. Е., Старостенко В. О.</i> Разветвитель тока катодной защиты с функцией автоматической стабилизации .....	93
<i>Лукашоў В. М., Кухарэнка С. М., Крышнеў Ю. В.</i> Даследаванне імпульснага метаду ў віхратокавай дэфектаскапіі .....	95
<i>Наумук А. А., Сахарук А. В., Болденко С. С., Крышнев Ю. В., Виноградов Э. М.</i> Зависимость коэффициента затухания сигнала от магнитной проницаемости стали .....	96
<i>Лукашов В. М., Захаренко Л. А., Старостенко В. О.</i> Устройство мониторинга защитного потенциала подземного трубопровода .....	98
<i>Карпов В. А., Хананов В. А.</i> Метод стабилизации режима работы интегратора по постоянному току .....	99
<i>Дорощенко И. В., Погуляев М. Н., Захаренко В. С.</i> Исследование гармонического состава потребляемого тока асинхронно-вентильного каскада .....	100
<i>Меньшаков П. А., Мурашко И. А.</i> Голосовая идентификация пользователя в системах контроля доступа .....	101

#### Секция Д. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

<i>Василькив В. В.</i> К вопросу классификации технологий изготовления изделий методом послойного синтеза .....	103
<i>Иванейчик А. В.</i> Проблемы управления электрической нагрузкой потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками .....	104
<i>Ходько Е. М.</i> Использование местных топливно-энергетических ресурсов – одно из основных направлений обеспечения энергетической безопасности Республики Беларусь .....	105
<i>Вершинин А. Н.</i> Увеличение срока службы стартерных электродвигателей .....	106

<i>Колесник Ю. Н.</i> Системный подход к решению проблем энергосбережения энергоемких производств .....	107
<i>Зализный Д. И.</i> Расчет внутренних температур объектов энергетики на основе непрерывного контроля температуры их поверхности .....	108
<i>Бахур С. И., Алферов А. А.</i> Программный инструментарий исследования параметров надежности электрооборудования .....	109
<i>Короленок Т. С., Бахур С. И., Алферов А. А.</i> Имитационная модель вентильно-индукторного двигателя .....	110
<i>Овсянник А. В., Новиков М. Н., Степанишина Ю. А.</i> Анализ способов и возможностей повышения эффективности процесса конденсации озонобезопасных хладагентов.....	111
<i>Колесник Ю. Н., Кучерявенко А. В.</i> Эффективность модернизации высоковольтных электроприводов производственных механизмов.....	112
<i>Соболев Е. В., Подденежный Е. Н.</i> Моделирование светораспределения светодиодных модулей в ближней зоне .....	113
<i>Дробов А. В., Галушко В. Н.</i> Моделирование потребления электрической энергии предприятиями машиностроения .....	114
<i>Алферова Т. В., Полозова О. А., Засименко А. В.</i> Применение сумеречной фотометрии в расчетах осветительных установок.....	115
<i>Бахмутская В. В., Алферова Т. В., Мороз В. А.</i> Энергосберегающие светодиодные системы освещения птичников .....	116

---

**Секция Е. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

---

<i>Бабына И. В.</i> Диверсификация производства как стратегия развития машиностроительного предприятия .....	118
<i>Карней Т. В., Чэн Цилян</i> Организация промышленного освоения новой продукции .....	119
<i>Бык В. Ф.</i> Незатратные инструменты и методы повышения конкурентоспособности предприятий и организаций машиностроения в рыночной экономике .....	120
<i>Шваякова О. В.</i> Оптимизация затрат машиностроительного производства путем повышения уровня его организации .....	121
<i>Лапицкая О. В.</i> Современные методы организации производства при машинной заготовке древесины с учетом мирового опыта .....	122
<i>Лапицкая Л. М., Емельяненко Я. В.</i> Показатели инновационного развития Республики Беларусь .....	123
<i>Ландова Н. К.</i> Использование концепции «5S» для совершенствования организации рабочих мест на предприятиях Республики Беларусь .....	124
<i>Драгун Н. П., Ивановская И. В.</i> Эволюция ключевых производственных факторов и концепций роста производительности труда в машиностроении .....	126
<i>Пархоменко Н. В.</i> Управленческие технологии повышения эффективности функционирования энергетического хозяйства машиностроительного предприятия .....	127
<i>Алексеев Н. А.</i> Проблемы методического обеспечения расчетов профессиональных рисков и установления страховых тарифов .....	128
<i>Надыров А. Ф.</i> Аутсорсинг производственных процессов как инструмент повышения эффективности деятельности предприятия.....	129
<i>Трейтьякова Е. В.</i> Методические аспекты оценки производительности .....	130
<i>Голуб М. В.</i> Организация технического перевооружения предприятия на основе инженерного консалтинга .....	131
<i>Борисовец О. Г., Ермалинская Н. В.</i> Теоретические аспекты организации системы управления материально-техническим снабжением предприятия и ее обоснование на примере ОАО «Гомельский мотороремонтный завод» .....	132
<i>Сталович Н. С.</i> Применение диаграммы Парето в работе предприятий.....	133
<i>Павлов А. М., Савченко Ю. В.</i> Установление факторов роста производительности труда на предприятии .....	134
<i>Астраханцев С. Е.</i> Business model canvas как инструмент совершенствования организации производства в инновационных организациях .....	135

## ПЛЕНАРНЫЕ

УДК 681.518.001.63

### ГЕНЕТИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ СТАНКОВ

Ю. Н. Кузнецов

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

В антропогенных системах (АГС), созданных в результате сознательно направленной деятельности человека, к которым относятся технические системы различной сложности (машины, станки, механизмы, их узлы и т. п.), действуют такие же законы генетики, как и в живой природе. В них термин «ген» обозначает материальный носитель наследственной информации, созданной природой и использованной человеком с передачей из поколения в поколение.

В расширяющемся разнообразии создаваемых природой и человеком объектов и систем наблюдаются общие принципы их структурной организации, которые проявляются в виде межсистемных аналогий или скрытых внутрисистемных гомологий (табл. 1). Такие свойства имеют место как в естественных (биологических, химических, электромагнитных и др.) системах, так и в системах естественно-антропогенного происхождения (числовых, лингвистических, технических и др.).

Таблица 1

#### Аналогия уровней организации сложных развивающихся систем

Уровень структурной организации	Область знаний			
	Электромеханика	Механика	Биология*	Космогония*
Метасистемный	Интегрированная динамическая система (энергоблок, техноценоз)	Интегрированная механическая система (техноценоз)	Биогеоценоз	Вселенная
Системный	Электромеханические системы	Механические системы	Экосистемы	Метагалактики
Видовой	Виды электромеханических объектов	Виды механизмов	Виды	Галактики
Популяционный	Электромеханические структуры	Механизмы	Популяции особей	Звездные скопления
Объектный	Электромеханические пары (парные электромагнитные хромосомы)	Кинематические пары (соединения звеньев), цепи и структуры	Особи	Звезды
Хромосомный	Первичные источники электромагнитного поля (родительские хромосомы)	Механические звенья, элементарные твердые тела	Хромосомы	Элементарные частицы

Уровень структурной организации	Область знаний			
	Электромеханика	Механика	Биология*	Космогония*
Генетический	Электроны (электромагнитные гены)	Элементарные частицы (механические гены)	Гены	Кварки
По данным	Проф. В. Ф. Шинкаренко (НТУУ «КПИ»)	Автора	Акад. И. А. Рапопорта	

В процессе научного познания установлено, что указанная закономерность определяется свойствами целостных структур, элементарного и субэлементарного уровней, определяющих структурную организацию объектов и систем более высокого уровня сложности, образующихся в процессе структурной эволюции. Фундаментальность таких целостных структур определяется их инвариантностью к уровню сложности систем-потомков, реализуемых ими функций и времени их эволюции. Такими свойствами наделены, прежде всего, электроны (электромагнитные системы), атомы (химические соединения) и гены (биологические системы).

Наличие межсистемных аналогий – свидетельство общности системных принципов структурной организации в развивающихся системах различной физической природы. Элементный базис и фундаментальные свойства таких целостных структур упорядочиваются периодическими порождающими системами, выполняющими функцию генетических программ структурной организации и развития сложных систем. Открытие и познание порождающих систем в той или иной области знаний имеет общенаучное и междисциплинарное значение, так как непосредственно связано с возникновением и становлением новой научной парадигмы, определяющей переход от фрагментарных исследований к системным.

Цель настоящих исследований – формулирование новых подходов к описанию, классификации, принципам создания и предвидения новых станков и их механизмов на основе теории эволюции, системного анализа и морфологического синтеза.

Системный генетико-морфологический подход позволяет удачно объединить структурные исследования в различных областях науки и техники благодаря своему междисциплинарному характеру. По степени функционально-структурной организации АГС бывают статические (строительные конструкции, несущие системы технологического оборудования и т. п.) и динамические (станки, машины, их механизмы и приводы). Для них характерны непрерывные и дискретные процессы преобразования и обмена веществ (материи), энергии и информации.

В последнее время наблюдается проникновение эволюционно-генетических идей в технические и гуманитарные дисциплины (генетическая электромеханика, генетическое программирование, технологическая наследственность, генетическая психология, генетическая лингвистика и др.)

В зависимости от сложности структуры (табл. 1) и уровня генетической (наследственной) информации, отражающей базовые свойства порождающей системы (первичной структуры, с появлением которой начинается эволюция любого класса системы), любую АГС можно описывать, анализировать, синтезировать и даже предвидеть (а не только прогнозировать) ее усовершенствование или создание.

В механических системах материальным носителем наследственной информации – механическим геном может служить материальная точка, движущаяся в пространстве под действием силы и (или) момента (рис. 1).



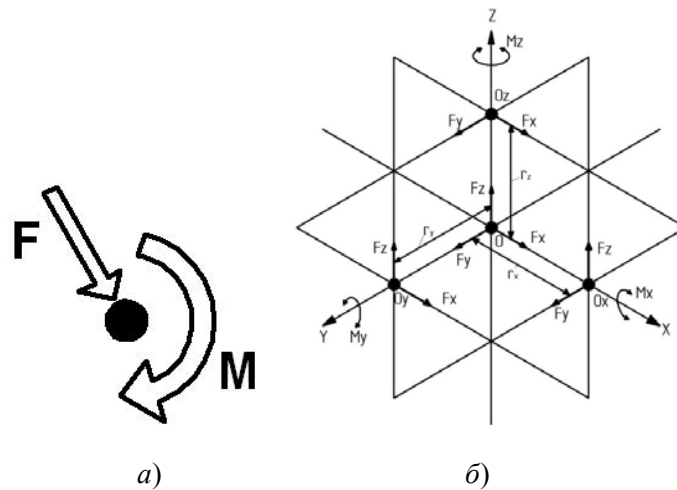


Рис. 1. Механический ген – движущаяся материальная точка (а)  
в декартовой системе координат  $XYZ$  (б)

Передачу силы, перемещения и энергии в пространстве можно представить в виде обобщенной модели силовых (энергетических) потоков от одной материальной точки  $O_1$  на входе в системе координат  $X_1 Y_1 Z_1$  к другой материальной точке  $O_2$  на выходе в системе координат  $X_2 Y_2 Z_2$  (рис. 2), дающей 144 варианта потоков (родительских хромосом), которые в процессе генетического развития усложняются, образуя комбинаторные группы хромосом-потомков  $n$ -го поколения с использованием пяти универсальных генетических операторов синтеза: репликации, скрещивания, инверсии, кроссинговера и мутации.

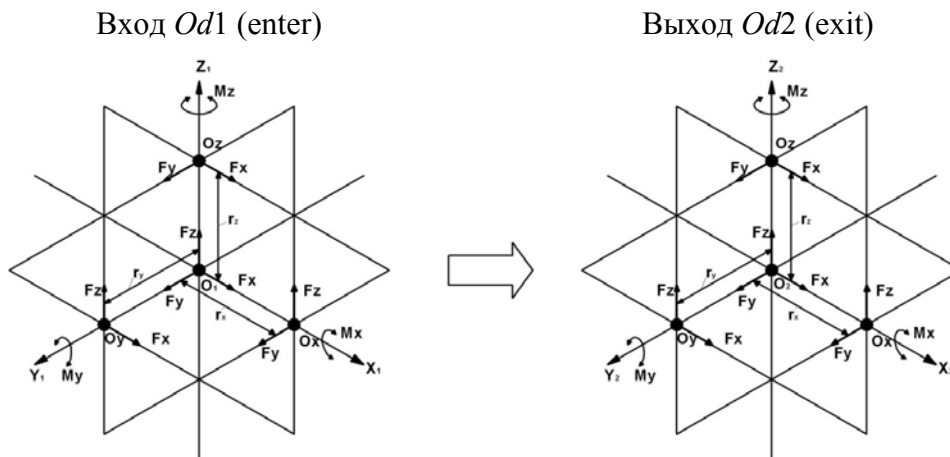


Рис. 2. Обобщенная модель силовых (энергетических) потоков  
в механической системе

Достоинства предложенного подхода проиллюстрированы на примерах создания новых зажимных механизмов, мотор-шпинделей и станков нового поколения, в том числе с параллельной кинематикой.

В соответствии с обобщенной моделью (рис. 2) все возможные энергетические (силовые) потоки в зажимных механизмах описываются морфологической матрицей, дающей 72 родительские хромосомы (для тел вращения – 48, табл. 2) с одним входом и выходом, одним местом зажима, а при их увеличении число вариантов существенно увеличивается.

На объектном уровне генетической информации для зажимных механизмов на выходе могут быть разные замыкания силовых потоков в виде элементарных силовых контуров. По мере усложнения структуры введением различных преобразователей появляются популяции зажимных механизмов, причем среди известных механических преобразователей используется семь: рычажные, клиновые, плунжерные, спиральные, винтовые, зубчатые, упругие.

Таблица 2

**Классификация энергетических (силовых) потоков  
(порождающая система) вращающегося зажимного механизма  
одинарного зажима в полярной системе координат**

От источника энергии		Вид усилия (момент)	Выход к объекту зажима				
			Направление	Выходное усилие $F_2$			
				Осевое $F_{a2}$		Радиальное $F_{r2}$	
Вход	Входное усилие $F_{a1}$	Осевое $F_{a1}$		$F_{a1} - F_{a2}$	$F_{a1} - \underline{F}_{a2}$	$F_{a1} - F_{r2}$	$F_{a1} - \underline{F}_{r2}$
				$\underline{F}_{a1} - F_{a2}$	$\underline{F}_{a1} - \underline{F}_{a2}$	$\underline{F}_{a1} - F_{r2}$	$\underline{F}_{a1} - \underline{F}_{r2}$
		Радиальное $F_{r1}$		$F_{r1} - F_{a2}$	$F_{r1} - \underline{F}_{a2}$	$F_{r1} - F_{r2}$	$F_{r1} - \underline{F}_{r2}$
				$\underline{F}_{r1} - F_{a2}$	$\underline{F}_{r1} - \underline{F}_{a2}$	$\underline{F}_{r1} - F_{r2}$	$\underline{F}_{r1} - \underline{F}_{r2}$
		Тангенциальное $F_{t1}$		$F_{t1} - F_{a2}$	$F_{t1} - \underline{F}_{a2}$	$F_{t1} - F_{r2}$	$F_{t1} - \underline{F}_{r2}$
				$\underline{F}_{t1} - F_{a2}$	$\underline{F}_{t1} - \underline{F}_{a2}$	$\underline{F}_{t1} - F_{r2}$	$\underline{F}_{t1} - \underline{F}_{r2}$
	Входной момент $M_1$	Вокруг оси вращения $M_{a1}$		$M_{a1} - F_{a2}$	$M_{a1} - \underline{F}_{a2}$	$M_{a1} - F_{r2}$	$M_{a1} - \underline{F}_{r2}$
				$\underline{M}_{a1} - F_{a2}$	$\underline{M}_{a1} - \underline{F}_{a2}$	$\underline{M}_{a1} - F_{r2}$	$\underline{M}_{a1} - \underline{F}_{r2}$
		Вокруг радиуса $M_{r1}$		$M_{r1} - F_{a2}$	$M_{r1} - \underline{F}_{a2}$	$M_{r1} - F_{r2}$	$M_{r1} - \underline{F}_{r2}$
				$\underline{M}_{r1} - F_{a2}$	$\underline{M}_{r1} - \underline{F}_{a2}$	$\underline{M}_{r1} - F_{r2}$	$\underline{M}_{r1} - \underline{F}_{r2}$
		В плоскости оси вращения $M_{t1}$		$M_{t1} - F_{a2}$	$M_{t1} - \underline{F}_{a2}$	$M_{t1} - F_{r2}$	$M_{t1} - \underline{F}_{r2}$
				$\underline{M}_{t1} - F_{a2}$	$\underline{M}_{t1} - \underline{F}_{a2}$	$\underline{M}_{t1} - F_{r2}$	$\underline{M}_{t1} - \underline{F}_{r2}$
Принципы зажима			Торцевой		Радиальный		

УДК 621.778

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА  
УЛЬТРАВЫСОКОПРОЧНОГО МЕТАЛЛОКОРДА****Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин***Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Представленный комплекс научных исследований и разработок, выполненный для металлургии Республики Беларусь, относится к области метизного производства ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания». Основные проблемы производства относятся к недостаточному уровню производительности некоторых технологических процессов или к необходимости повышения качества продукции. Для решения поставленных проблем использовался следующий методологический подход. В начале исследовательских работ совместно с промышленниками формировалась конкретная задача и перспективные параметры и условия ее решения. Далее проводился литературно-патентный поиск лучших мировых аналогов решений поставленных задач, выполнялся статистический анализ показателей технологии производства или параметров работы оборудования, создавались аналитические и лабораторные методики исследований, численные конечно-элементные модели процессов и оборудования. С помощью методик и моделей выполнялись исследования с целью разработки или оптимизации технологических процессов или оборудования. Затем выполнялось опытное исследование технологии или оборудования в производственных условиях и проводились расширенные производственные испытания. После оформления соответствующей руководящей технической документации новая технология и оборудование запускались в серийное производство.

Исследовательской базой служили лаборатории и кафедры механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого.

Одной из основных проблем, решенных в металлургии, являлась разработка новой технологии производства ультравысокопрочного металлокорда. Ультравысокопрочный металлокорд является самым перспективным продуктом мирового шинного производства. Прочность тонких проволок диаметром 0,185 мм, 0,35 мм, из которых свит ультравысокопрочный металлокорд, достигает 4 ГПа. Такой прочный металлокорд по сравнению с обычным металлокордом позволяет снизить массу шины при сохранении ее функциональных возможностей. Это, в свою очередь, снижает затраты на эксплуатацию автотранспорта. Основной проблемой, сдерживающей увеличение объема производства данной продукции на ОАО «БМЗ – УКХ «БМК», имеющем около 12 % доли мирового рынка металлокорда, являлась высокая обрывность металлокорда вследствие повышенной прочности проволок. Особенно остро данная проблема стояла в производстве ультравысокопрочного металлокорда. Этот вид металлокорда имеет в своем составе стальную проволоку диаметром 0,35 мм с прочностью 3,65 ГПа. Проблема решена путем разработки, исследования и внедрения нового принципа построения деформационного режима тонкого волочения ультравысокопрочной высокоуглеродистой латунированной проволоки на волочильных станах тонкого волочения (рис. 1), предназначенной для последующей свивки металлокорда.



а)

б)

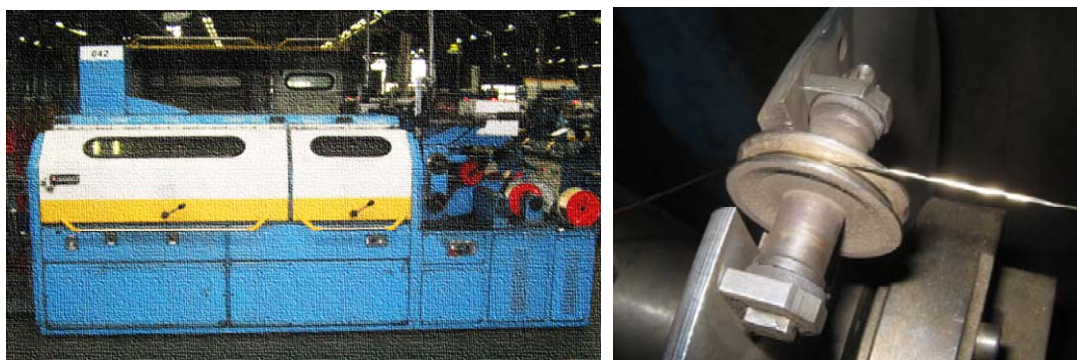
Рис. 1. Волоочильный стан тонкого волочения стальной латунированной проволоки: а – общий вид; б – зона волочения проволоки

Объем производства данной продукции после изменения технологии производства увеличен в 3 раза. Сущность нового принципа в разработке технологии производства металлокордной проволоки заключается в использовании разработанного температурного критерия при построении деформационного режима волочения высокоуглеродистой высокопрочной стальной проволоки. Температурный критерий построения режима волочения позволяет снизить уровень температуры деформируемого металла и тем самым повысить ее пластичность при сохранении удовлетворительных прочностных свойств. Указанные изменения механических свойств проволоки связаны со значительным снижением действия эффекта динамического старения высокоуглеродистой стали в поверхностных слоях проволоки. Это явление приводит к повышению твердости этих слоев и, соответственно, росту способности к трещинообразованию и обрыву проволоки при дальнейшей свивке в металлокорд, где проволока получает дополнительную механическую нагрузку. Ультравысокопрочная стальная проволока диаметром 0,35 мм получила дополнительную пластичность при сохранении прочности, что снизило ее обрывность при свивке в 2,7 раза. Разработанная технология изготовления ультравысокопрочного металлокорда внесена в технологическую карту и внедрена с 2010 г. на ОАО «БМЗ – УКХ «БМК». Она используется по настоящее время в режиме непрерывного производства. Экономический эффект от внедрения данной разработки составляет почти 1 млрд белорусских рублей и постоянно увеличивается.

Разработана методика оценки качества проволоки, позволяющая рассчитывать режимы волочения для достижения требуемого качества проволоки, обеспечивающего минимальную обрывность металлокорда при свивке. Впервые получена адекватная зависимость, позволяющая рассчитывать прогнозируемую обрывность металлокорда при его свивке в зависимости от параметров процессов волочения проволоки и свивки металлокорда.

В настоящее время выполняется перспективная разработка по улучшению качества металлокорда.

Выполнены работы по модернизации канатных машин (рис. 2), свивающих металлокорд из проволоки, полученной на волочильных станах. Канатные машины выполняют операцию свивки проволок в металлокорд. Их отличительной особенностью является самый сложный механизм, выполняющий переплетение нескольких непрерывных проволок (от 2 до 12) одновременно.



а)

б)

Рис. 2. Канатная машина для свивки металлокорда из стальной латунированной проволоки:  
а – общий вид; б – узел обводного ролика

Отдельные узлы машины испытывают предельные рабочие нагрузки и обладают низким ресурсом, что вызывает частые замены деталей машин, вышедших из строя. Одним из таких узлов является узел обводных роликов лопаточных колес канатной машины ТД 2/601. Максимальный ресурс этого узла составлял около недели, что вынуждало производство отказываться от него и устанавливать твердосплавные направляющие, снижающие качество получаемого металлокорда вследствие появления трения скольжения между металлокордом и твердосплавными направляющими. В результате проведенных расчетных работ была разработана и изготовлена новая конструкция узла обводных роликов на композиционных подшипниках скольжения на твердой смазке (рис. 2, а). Композиционные подшипники скольжения изготавливаются в условиях опытного производства университета. Ресурс разработанного узла превысил исходное значение более чем в 45 раз. Разработанные узлы обводных роликов используются на предприятии и их область использования расширяется. Композиционные подшипники скольжения также изготавливаются и поставляются мелкими партиями в агропромышленный комплекс взамен импортных аналогов. Аналогичные изделия изготавливались и поставлялись в узлы трения прокатного стана 150 ОАО «БМЗ – УКХ «БМК».

В настоящее время проходят опытные испытания фрикционные диски устройства натяжения металлокорда на канатных машинах Ri 10 ОАО «БМЗ – УКХ «БМК» (рис. 3). Фрикционные диски разрабатываются и изготавливаются в условиях опытного производства университета.



Рис. 3. Общий вид натяжного устройства канатной машины

К представленным исследованиям широко привлекались студенты, магистранты, аспиранты. По проблемам метизного производства защищена кандидатская диссертация и подготовлена к защите еще одна кандидатская диссертация, успешно защищены магистерские диссертации. Выполнены многочисленные дипломные, курсовые проекты, тематически связанные с направлением исследований. Подготовлены и представлены на конференциях студенческие работы; ряд студенческих работ удостоен дипломами на республиканском конкурсе. Авторские права на научные разработки защищены патентами на объекты промышленной собственности. Издана монография, посвященная исследуемым вопросам; основные научные результаты опубликованы в 32 ведущих рецензируемых научных изданиях и представлены на 24 научных конференциях. Всего опубликовано свыше 80 научных работ. Некоторые результаты научных разработок в области метизного производства внедрены в учебный процесс университета.

Полученные результаты исследований имеют научную значимость, прошли практическую апробацию на ОАО «БМЗ – УКХ «БМК» и могут широко использоваться в металлургической промышленности, а также учебном процессе профильных университетов.

## СЕКЦИЯ А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 539.4

### ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ МАЛОЦИКЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДЕННОСТИ

**В. В. Коваль**

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

Как известно, одной из основных проблем современного машиностроения является проблема достоверного определения ресурса конструкций и агрегатов, которые находятся в условиях циклического силового нагружения. Однако большинство существующих методов оценки долговечности для прочностных расчетов используют условную диаграмму деформирования материала и гипотезу линейного накопления повреждений, что вносит некоторую погрешность в получаемый результат. Таким образом, разработка новых методов прогнозирования является актуальной задачей, решение которой даст возможность более точно определять ресурс, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации конструкции.

В качестве основного подхода в данной работе выбран подход эффективных напряжений, который базируется на построении эффективной диаграммы деформирования. При этом учитывается влияние поврежденности, которая возникает в процессе деформирования материала, на характеристики его прочности. Оценка поврежденности производилась с помощью метода измерения изменения удельного электросопротивления и метода оценки деградации модуля Юнга. Экспериментально показано, что поврежденность в материале возникает уже на стадии его упругого деформирования. В качестве аналитического выражения для расчета поврежденности была предложена феноменологическая модель, которая учитывает параметр Писаренко–Лебедева и начальный уровень поврежденности, который возникает на стадии упругого деформирования материала. Указанная модель была использована при численном определении полей поврежденности с помощью пакета ANSYS для различных конструктивных элементов.

Для случая циклического нагружения при  $r_c = -1$  экспериментально были получены кинетические кривые накопления повреждений. Показано, что данные кривые имеют четко выраженный нелинейный характер. Получена зависимость критического значения поврежденности, которое соответствует разрушению, от количества циклов нагружения. На основании проведенных экспериментов были рассчитаны параметры залечивания для различных материалов в условиях мягкого и жесткого режима нагружения, показана их зависимость от режимов нагружения.

При определении долговечности был использован энергетический подход, который учитывает энергию, накопленную за один полный условно стабилизированный цикл. Метод оценки долговечности был проверен для циклически упрочняющегося и циклически разупрочняющегося состояния материалов.

Для оценки максимальных значений напряжений и деформаций в случае наличия концентратора напряжения в виде отверстия или выточки был предложен модифицированный подход Нейбера–Махутова, с помощью которого могут быть рассчитаны эффективные коэффициенты концентрации напряжений и деформаций, учитывающие влияние поврежденности.

На основании проведенных расчетов получены уточненные кривые долговечности для гладких образцов и образцов с концентраторами напряжений. Расчетные кривые показали удовлетворительное совпадение с кривыми, полученными экспериментально.

УДК 539.3

### **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**А. Е. Бабенко, О. А. Боронко**

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

Разработанная автоматизированная система расчета представляет пакет прикладных программ (ППП) «МКИ», предназначенный для определения необходимого числа собственных частот и соответствующих им собственных форм колебаний при продольных, крутильных, изгибных колебаниях стержня и пространственных колебаниях стержневых систем, при плоских, изгибных свободных колебаниях пластин, колебаниях пластинчато-оболочечных систем, а также при колебаниях трехмерных призматических тел. ППП предназначен также для решения задач о вынужденных колебаниях с учетом рассеяния энергии в вышеуказанных конструкциях, кроме того ППП позволяет решать динамические задачи при кинематическом возбуждении колебаний.

ППП представляет собой совокупность двух проблемно ориентированных подсистем: «Свободные колебания», «Вынужденные колебания». Каждая подсистема включает в себя пять блоков: «Стержни», «Пространственные стержневые системы», «Пластины», «Пространственные пластинчато-оболочечные системы», «Трехмерные призматические тела».

В качестве прикладной задачи решалась задача определения трех собственных частот и соответствующих им собственных форм колебаний лопатки колеса центробежного компрессора.

Лопатки колес центробежных компрессоров представляют собой оболочки переменной толщины, упруго закрепленные на участке сопряжения с диском и свободные от усилий по остальному контуру.

Полученные значения собственных частот лопатки колеса центробежного компрессора сравнивались с данными эксперимента. Погрешность в определении трех низших собственных частот не превышала 3 %.



УДК 539.3

**МЕТОД РЕСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ****А. Е. Бабенко, О. А. Боронко, С. И. Трубачев***Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

Для изготовления элементов конструкций в последние годы наряду с традиционными изотропными материалами применяются слоистые композитные материалы (КМ) с заранее прогнозируемыми свойствами, которые наилучшим образом соответствуют экстремальным условиям эксплуатации изделий. Широкое использование слоистых КМ при создании конструкций современной техники требует развития аналитических и численных методов их расчета. При исследовании конструкций, сложной геометрической формы, с произвольными условиями закрепления целесообразно применять численные методы расчета.

В данной работе используется метод, базирующийся на вариационно-сеточном подходе. При этом бесконечномерное пространство допустимых функций заменяется конечномерным путем дискретизации исследуемого объекта на конечное число подобластей, далее строятся аппроксимации искомых функций на этих подобластях. Для слоистых пластинчато-оболочечных систем в качестве базовой подобласти используется треугольник, в котором в отличие от других моделей применяются различные аппроксимации перемещений по слоям. Перемещения в тонких несущих слоях аппроксимируются линейными и неполным кубическим полиномами, а для заполнителя принимается гипотеза о кубическом распределении перемещений по толщине. Использование данной модели дает возможность определить напряженно-деформированное состояние как каждого слоя в отдельности, так и всего пакета в целом. При определении прочности механических систем, находящихся под действием вибрационных нагрузок, основная сложность заключается в определении спектра собственных частот и форм колебаний. В работе для решения данной задачи предлагается использовать метод повышения жесткостей, который является более эффективным и экономичным методом, с точки зрения вычислительных ресурсов, по сравнению с традиционным методом, где каждая последующая форма и частота находится путем минимизации на подпространстве, ортогональном всем ранее найденным собственным векторам. Следует подчеркнуть, что метод повышения жесткостей позволяет определить весь спектр собственных частот и форм колебаний включая кратные, что важно для решения задачи о вынужденных колебаниях, механических систем. Для минимизации полученного функционала использовался итерационный метод покоординатного спуска, который является устойчивым численным алгоритмом. Применение метода покоординатного спуска при решении задач статики и динамики позволяет избежать известных трудностей, связанных с формированием, хранением и оперированием с глобальными матрицами жесткости и масс. Это дает возможность решать реальные практические задачи большой размерности, используя минимальные вычислительные ресурсы компьютера. На основе данного подхода были рассмотрены задачи статики и колебаний трехслойных конструкций на упругом основании. Реакция основания соответствует модели Винклера. Для прямоугольной трехслойной пластины с граничными условиями типа Навье сначала было построено аналитическое решение в виде разложения в двойные тригонометрические ряды. Для задачи изгиба было проанализировано влияние коэффи-

циента жесткости основания на значение максимального прогиба в центре пластины. На основе предложенного подхода также были определены динамические характеристики слоистых авиационных панелей, материал для несущих слоев выбирался Д16Т, а для заполнителя – фторопласт. Результаты расчета на основе предложенного подхода сравнивались с экспериментальными данными.

УДК 531.39

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРА СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ЦЕНТРИФУГИ

А. Е. Бабенко, Я. И. Лавренко

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

Центрифуги используются в медицинских лабораториях, в разных отраслях промышленности, для разделения смесей на фракции, состоящих из веществ разной плотности. Определение динамических характеристик центрифуги необходимо для определения устойчивых диапазонов вращения центрифуги. Так как центрифуга работает при высоких скоростях, необходимо при определении динамических характеристик учитывать гироскопические эффекты.

Анализ литературных источников [1], [2] показал, что центрифуги рассматриваются как одномассовая система, в то время как исследования показали, что центрифуга является многомассовой системой.

Целью работы является определение собственных частот колебания лабораторной центрифуги с учетом ее конструктивных особенностей. Для этого измерялись колебания вала центрифуги. Центрифуга разгонялась до разных рабочих скоростей, снимались виброграммы колебаний, а потом с помощью статистической обработки определялись резонансные частоты, которые совпадают с собственными частотами.

Для экспериментального определения спектра собственных частот исследуемого объекта использовалась методика малого возбуждения. С помощью лазера Triangulation Displacement Sensors Opto определялись перемещения конца вала центрифуги. Луч лазера направлялся на тело, которое вращается, и фиксировался сигнал. Ускорения измерялись акселерометром и передавались в многоканальную станцию. После обработки данных получена виброграмма колебаний верхнего конца вала центрифуги, траектория его движения и спектральный анализ путем разложения сигнала в ряд Фурье.

Экспериментальные исследования показали, что возбуждаются колебания не только на основной частоте, но и на более высокой частоте, которая вдвое больше основной. Это явление не было выявлено ранее ни в экспериментальных, ни в теоретических предыдущих работах.

### **Заключение**

1. Экспериментальное исследование дало возможность найти диапазоны устойчивой работы центрифуги.

2. Проведенные спектральные анализы позволили выявить новую закономерность, состоящую в том, что на более высоких частотах появляется вторая частота, которая отвечает удвоенной первой.

## Литература

1. Fischer J., Strackeljan J. Stability Analyses of High Speed lab centrifuges considering internal damping in rotor shafts, Technische Mechanik, Band 26, Heft 2, 2006. – P. 131–147.
2. Бабенко, А. С. Вплив гіроскопічних ефектів на коливання валу центрифуги / А. С. Бабенко, Я. І. Лавренко, М. М. Куренков // Вісник НТУУ «КПІ», Машинобудування. – 2013. – Вип. 65 – С. 166–174.

УДК 629.4.02

**ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ДВУХОСНОЙ ТЕЛЕЖКИ  
ПОЕЗДА-ТРАМВАЯ****П. И. Шалупина***ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»,  
Российская Федерация*

Рост населения таких крупных городов Российской Федерации, как Москва, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Екатеринбург, Новосибирск и др., приводит к значительному увеличению нагрузки на транспортную систему пригородного сообщения. Это связано с тем, что значительная доля населения в настоящее время проживает в городах-спутниках мегаполисов, а трудовую деятельность ведет в самих мегаполисах. Одним из самых эффективных способов разгрузки транспортной системы пригородного сообщения является создание системы поездов-трамваев. Поезда-трамваи выполняют две основные функции – в черте городов они используются в качестве низкопольных трамваев, за пределами городов, на путях пригородного сообщения – в качестве пригородных поездов. Опыт создания подобных систем имеется в основном у стран Запада, в Российской Федерации систем поездов-трамваев в настоящее время нет, поэтому рассматриваемая тема является актуальной.

В работе проведен анализ существующих конструкций поездов-трамваев мировых производителей подвижного состава железных дорог: Siemens AG, Alstom, Bombardier Inc. В ходе анализа отобраны конструкции экипажных частей поездов-трамваев, которые могут найти применение в железнодорожной системе Российской Федерации. Из ряда выбранных конструкций наиболее рациональной является конструкция тележки модели SF1000 производства фирмы Siemens AG, среди особенностей которой можно выделить применение буксы-балансира и центрального подвешивания с использованием пневморессоры.

На базе конструкции тележки SF1000 разработаны оригинальные конструкции моторной и опорной тележек, отличительной чертой которых являются: омегаобразная рама, букса-балансир и пневморессора в центральной ступени подвешивания. Разработаны трехмерные модели основных элементов поезда-трамвая: кузов, элементы тележек и др. На основе данных моделей в среде программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» разработана пространственная динамическая модель поезда-трамвая. В модели кузова головной, хвостовой вагон, а также промежуточная прицепная секция представлены абсолютно твердыми телами с реальными инерциальными характеристиками. Тележки вагона представлены в виде подсистем, состоящих из совокупности абсолютно твердых тел, соединенных упруго-диссипативными элементами, вращательными шарнирами и силовыми контактными элементами. Моделирование пневморессоры выполнялось с использованием модели GENSYS.

При моделировании рассматривались режимы движения поезда по прямому участку пути в скоростном интервале 20–80 км/ч, в кривых, в том числе малого радиуса (до 90 м), а также противошерстное прохождение стрелочного перевода. В результате моделирования получены зависимости следующих параметров ходовой динамики от скорости движения: сил отжатия рельса, коэффициента безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс, коэффициента плавности хода в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Дополнительно проводилось моделирование движения поезда с вышедшими из строя пневморессорами со скоростями в интервале 10–80 км/ч.

Анализ полученных в результате моделирования параметров ходовой динамики показал, что они не превышают величин, рекомендуемых нормативными документами. Это свидетельствует о том, что предложенная конструкция тележки соответствует требованиям безопасности и может использоваться как на магистральных путях железных дорог России, так и на внутригородских линиях.

УДК 539.3+620.1

### **МОДЕЛИ ЗАЛЕЧИВАНИЯ МИКРОПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ОБРАТНОМ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ И СДВИГЕ**

**А. П. Грабовский, А. А. Бондарец**

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

Процессы накопления повреждений в конструкционных материалах при эксплуатации оборудования являются многомасштабными и многостадийными кинетическими процессами, которые составляют до 90 % времени его эксплуатации. Они развиваются одновременно на разных масштабных уровнях: атомных, дислокационных, субструктурных и структурных, что означает необходимость совмещения микроскопических, мезоскопических и макроскопических моделей. Многостадийность процессов означает, что развитие поврежденности проходит последовательно через несколько качественно разных стадий, каждая из которых характеризуется своими физическими закономерностями и своей энергетикой. В силу этого процессы накопления повреждений зависят от истории эксплуатации оборудования.

Практикой установлено, что при обратных (реверсивных) режимах упругопластического нагружения – «растяжение – сжатие», «левостороннее – правостороннее кручение» в материалах осуществляется частичное залечивание микродефектов, что приводит к частичному улучшению физико-механических свойств – модулей упругости  $E$ ,  $G$ , коэффициентов поперечной деформации, электропроводности и т. д. Изменение физико-механических свойств осуществляется за счет геометрической переориентации микроповреждений различной формы, исчезновения микроскопических дефектов на атомарном уровне, переориентации вакансий и дислокаций в исходное состояние и других структурных изменений в материале.

В работе получены аналитические соотношения определения коэффициентов залечивания микроповреждений за изменением модулей упругости  $E$  и  $G$  при прямых и реверсных режимах мягкого и жесткого упругопластического осевого нагружения и при кручении.

Экспериментально получены коэффициенты залечивания микроповреждений для реверсных режимов осевого нагружения и при кручении ряда конструкционных материалов с различными пластическими свойствами – сплав алюминия Д16Т,

Сталь 45, Сталь 30ХГСА, Сталь 18Х19Н10Т, Медь. Получены обобщающие зависимости коэффициентов залечивания микроповреждений для мягкого и жесткого реверсных режимов осевого нагружения и при сдвиге от пластических свойств конструкционных материалов.

Экспериментально установлено, что коэффициенты залечивания линейно возрастают от величины роста пластических свойств конструкционных материалов для мягких реверсных режимов упругопластического осевого нагружения и при сдвиге, а для жестких режимов нагружения эти зависимости нелинейны.

УДК 621.691.67-762

## ИССЛЕДОВАНИЯ И ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ВАЛОВ ГИДРОМАШИН

В. М. Голуб

*Учреждение образования «Брестский государственный  
технический университет», Республика Беларусь*

С развитием отраслей промышленности расширяется область применения гидравлических систем гидроприводов и гидроагрегатов. В гидравлических системах используются различные уплотнительные элементы, от работоспособности которых зависит надежность всей системы в целом.

Качественный уровень уплотнений зачастую определяет как конструкцию гидромашины, так и схему ее технологической обвязки.

Многие эффективные технологические схемы, где требуется создание высоких давлений перекачиваемой среды, не реализованы из-за отсутствия надежных уплотнений гидромашин и гидроаппаратов.

На современных центробежных насосах герметизация выхода вала из корпуса насоса осуществляется уплотнениями торцового типа, как наиболее эффективными.

Принцип герметизации в таком уплотнении основан на создании гидравлического сопротивления в торцовом щелевом зазоре контактного пояса пары трения, практически исключающего протечки жидкости. Гидравлическое сопротивление создается весьма малым щелевым зазором, который достигается прецизионной обработкой контактных поверхностей колец пары трения ( $Ra = 0,08-0,16$  мкм и отклонением от плоскостности  $0,6-0,9$  мкм).

Предъявляемые к уплотнениям валов гидромашин требования все время повышаются. Необходимо обеспечить надежную и длительную работу уплотнений при больших величинах давления уплотняемой среды (до 10,0 МПа и более), иногда с плохой смазочной способностью и даже при наличии в ней механических примесей, а также высоких скоростях вращения вала, иногда при наличии вибрации.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, разработки, направленные на повышение срока службы таких уплотнений, обычно заключаются в подборе материалов колец пар трения в зависимости от свойств уплотняемых сред.

Конструкции уплотнений должны постоянно совершенствоваться и разрабатываться новые с учетом изменения условий и режимов работы технологического оборудования.

Герметичность уплотнения оценивается величиной утечки уплотняемой среды через щель контактных колец пары трения. Поэтому важным является характер течения жидкости в узких микронных щелях.

Выбор конструктивных параметров торцовых уплотнений валов гидромашин, работающих с высоким давлением уплотняемой среды, определяется из условия минимального износа колец пары трения и практически нулевой утечки. Последнее может иметь место при оптимальном режиме трения контактирующих поверхностей колец, разделенных тонкой пленкой жидкости.

Разработана модель течения жидкости в узких щелях. В случае, когда контактирующие поверхности разделены жидкостной пленкой, решение задачи о утечке сводится к определению ее величины при ламинарном течении. Однако количественное описание протечки вязкой жидкости через узкие щели представляет определенные трудности. Анализ показывает, что модели, основанные на использовании ньютоновской жидкости и дающие для плоской щели кубическую зависимость расхода от величины зазора, не полностью соответствуют эксперименту. Уточнения достигаются при использовании моделей неньютоновских жидкостей.

УДК 621.891.67-762

## **АБРАЗИВНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ**

**В. М. Голуб, М. В. Голуб**

*Учреждение образования «Брестский государственный  
технический университет», Республика Беларусь*

Уплотнения валов нефтяных насосов являются наиболее ответственными узлами, определяющими в целом надежность транспортной системы нефти. По мере увеличения геометрических параметров насосов условия работы уплотнений становятся все более тяжелыми, а надежность их снижается. Качественный уровень уплотнений зачастую определяет не только конструкцию насоса, но и оказывает решающее влияние на выбор технологических схем перекачки нефти. Многие эффективные технологические схемы при высоких давлениях (7,5–10,0 МПа) не могут быть пока реализованы из-за уплотнений, которые при указанном диапазоне давлений не обеспечивают требуемой их надежности и долговечности.

Отказ торцовых уплотнений происходит, в основном, по причине изнашивания и нарушения геометрии контактных поверхностей колец пар трения, смазкой которых являются перекачиваемые среды. Так нефти, обладающие сравнительно хорошей маслянистостью и смазывающей способностью, содержат различные механические примеси в виде песка и твердых химических соединений. При очистке резервуаров и трубопроводов содержание механических примесей в нефти достигает 0,05 % и выше.

Попадая в контакт уплотнительных колец, механические частицы оставляют на рабочих поверхностях следы микрорезания и разрушения. Поэтому при выборе сочетания материалов колец в каждом конкретном случае необходимо уделять особое внимание их состоянию. Одна и та же пара трения, работающая в различных уплотняемых средах, обладает различной износостойкостью и долговечностью. Например, для минеральных масел, согласно гидродинамической теории смазки, режим трения определяется показателем потери мощности на трение, где  $f$  – коэффициент трения;  $p_{уд}$  – удельная нагрузка пары трения;  $v$  – скорость скольжения;  $F$  – площадь контакта.

Основной практический вывод из этой теории заключается в том, что минимальный коэффициент трения  $f$  соответствует определенному значению параметра  $N$ . Обычно скорость скольжения и вязкость уплотняемой среды известны и задача заключается в том, чтобы подобрать для данных условий величину оптимального значе-

ния удельного нагружения контакта  $p_{уд}$ , дающую минимальную интенсивность износа и обеспечивающую герметичность контактной пары трения.

Оптимальную величину нагружения контакта можно определить только экспериментальным путем, оценивая изменения коэффициента трения, степень изнашивания контактных колец и утечку уплотняемой среды. Исследования режимов трения контактных колец при различных сочетаниях материалов пар трения показали, что величины удельного нагружения контакта должны находиться в пределах 0,3–0,5 МПа. При меньших значениях нагружения контакта не обеспечивается герметичность пары трения, а при больших значениях отмечается повышенный износ контактных колец.

Проведенные исследования, а также результаты промышленных испытаний торцовых уплотнений в абразивсодержащих жидкостях позволили определить механизм процесса изнашивания материалов пар трения. Установлено, что на износ пары трения оказывают влияние абразивные частицы размером менее 0,100 мм, при этом чем меньше будет размер частиц, тем большим будет износ. Очевидно, что наибольший износ будет наблюдаться при крупности абразивных частиц, сопоставимой с величиной зазора в паре трения (3–5 мкм).

УДК 621.83.06

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ И ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ**

**М. Е. Лустенков, Е. С. Фитцова, В. Ю. Пугач**

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

На основе созданной методологии расчета и проектирования передач с промежуточными телами качения (ППТК) была разработана методика инженерного расчета этих передач [1] и создана программа в системе Mathcad для автоматизации расчетов. С помощью данной программы была рассчитана ППТК для сопоставления ее характеристик с планетарной зубчатой передачей (ПЗП) при одинаковых материалах изготовления деталей, способах их термообработки и режимах нагружения. Энергоэффективность ППТК и ПЗП оценивалась по мощности, передаваемой на единицу площади поперечного сечения. То есть определялась эффективность использования их в качестве редукторов для работы в пространстве с ограниченными радиальными размерами: в механизмах техники для бурения, обслуживания и ремонта скважин. Существенным преимуществом является возможность проектирования центрального отверстия с диаметром до 40 % от диаметра корпуса передачи.

Результаты расчета ПЗП (с прямозубыми зацеплениями, одноступенчатой, трехсателлитной, сконструированной по схеме 2К-Н) приведены в [2, с. 204–205]. Материалы изготовления деталей – сталь 12Х2Н4А после цементации на твердость активных поверхностей зубьев 58–61 HRC, степень точности – 7-я по нормам плавности. Нагрузка близка к постоянной, срок службы – длительный. Частота вращения ведущего вала 1500 мин<sup>-1</sup>, крутящий момент на ведомом валу 600 Н·м, передаточное отношение  $i = 6$ . Иосилевичем Г. Б. [2, с. 205] для ПЗП получены следующие результаты: делительный диаметр центрального неподвижного колеса составил 200 мм, ширина зубчатых колес равна 24 мм, делительный диаметр солнечного центрального колеса составил 40 мм.

Особенностью разрабатываемых ППТК является то, что в конструкции передач применяются составные промежуточные тела. Каждый из элементов ролика осуществляет качение без проскальзывания по рабочей поверхности соответствующей детали передачи. Это снижает потери мощности на скольжение и повышает КПД. Результаты расчета ППТК с теми же исходными данными показали, что заданную мощность (16–20 кВт, в зависимости от КПД передачи) может передать ППТК цилиндрического типа с диаметром корпуса 150 мм и центральным отверстием диаметром 60 мм. Удельная передаваемая мощность на единицу площади поперечного сечения у ППТК (при рассчитанном КПД = 0,749) составила 793 кВт/м<sup>2</sup>, у ПЗП – 428 кВт/м<sup>2</sup>. При учете возможности проектирования центрального отверстия у данной передачи с максимальным диаметром 30 мм (так как делительный диаметр солнечной шестерни равен 40 мм) и принятом КПД = 0,98 данный параметр равен 437 кВт/м<sup>2</sup>. Таким образом, энергоэффективность ППТК по указанному критерию на 81–85 % выше. Расчеты передач различных типоразмеров с передаточными отношениями 2–12 показали, что применение ППТК позволяет снизить радиальные размеры по сравнению с планетарной зубчатой передачей на 26–30 %.

#### Литература

1. Методология расчета и проектирования передач с составными промежуточными телами качения / И. С. Сазонов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2014. – № 2 (43). – С. 60–70.
2. Иосилевич, Г. Б. Детали машин : учеб. для студентов машиностр. специальностей вузов / Г. Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с. : ил.

УДК 621.7/9.048.7

### **ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ПОКРЫТИЕМ ZrN НА ВРЕМЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЕРВЫХ ОЧАГОВ КОРРОЗИИ**

**С. Ю. Котов, Г. Я. Беляев**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Узлы трения являются важнейшими узлами машин и оборудования, поэтому к их качеству всегда предъявлялись высокие требования. Одним из факторов, оказывающих значительное влияние на долговечность узлов трения, является коррозионная стойкость их деталей. Так, наиболее частой причиной выхода из строя узлов трения качения является суммарный результат процессов износа и коррозии (трибокоррозии).

Главными причинами возникновения и протекания процессов коррозии являются наличие влаги (конденсата) и агрессивных химических соединений (серы, углерода и др.) в окружающей среде или смазочном материале. Стоит особенно отметить, что даже незначительное количество конденсата в смазке приводит к ощутимым потерям эксплуатационного ресурса узлов трения: так, например, увеличение количества влаги в смазочном материале с 0,01 до 0,1 % приводит к пятикратному уменьшению средней долговечности подшипников.

Время возникновения первых очагов коррозии на сферических подложках и упрочненных вакуумно-плазменным покрытием толщиной 5 мкм в жидких средах с различным уровнем кислотности представлено на рис. 1.



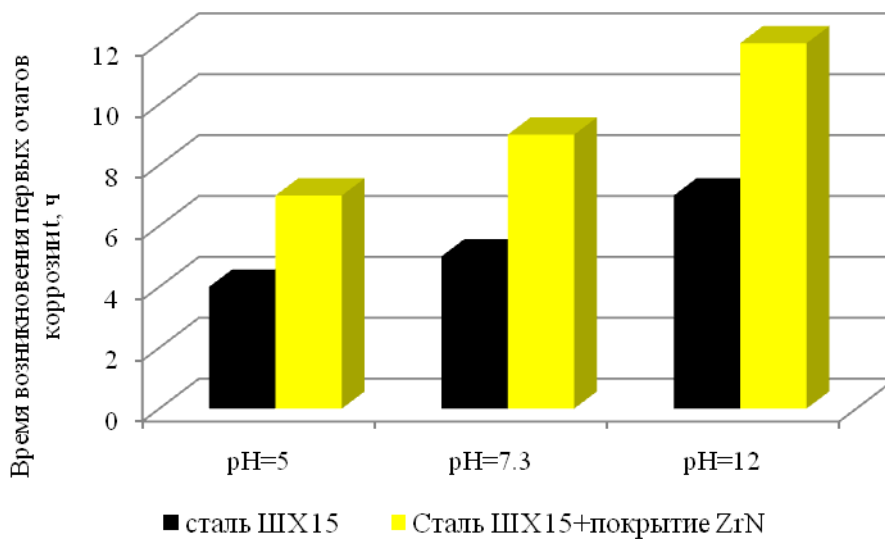


Рис. 1. Время возникновения первых очагов коррозии на образцах из стали ШХ15 и с покрытием ZrN толщиной 5 мкм в различных средах

В ходе исследования было установлено, что сталь ШХ15 наибольшей коррозионной стойкостью обладает в щелочных и нейтральных средах, а минимальной – в кислых, а нанесение покрытия толщиной  $h = 5$  мкм позволяет увеличить время возникновения первых очагов коррозии на 70–80 %

УДК 621.7/9.048.7

### ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ТЕЛ КАЧЕНИЯ ПОКРЫТИЕМ ZrN НА ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРА ВИБРОСКОРОСТИ ПОДШИПНИКОВ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С. Ю. Котов, Г. Я. Беляев

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

В настоящее время одной из наиболее важных производственных задач является надежная и безопасная работа оборудования. От решения этого вопроса зависят не только экономические показатели предприятия, но и безопасность людей. Именно поэтому для квалифицированной оценки работоспособности оборудования, организации его технического обслуживания и планирования ремонтных работ необходимо применять достижения современной науки в области мониторинга, оптимизации и прогнозирования. Многочисленные исследования показывают, что наиболее информативной величиной, достоверно характеризующей остаточный ресурс работы механических систем с вращающимися частями, является вибрация.

Результаты измерения спектров виброскорости радиально-упорных подшипников МПЗ 6305 на различных стадиях эксплуатации представлены на рис. 1.

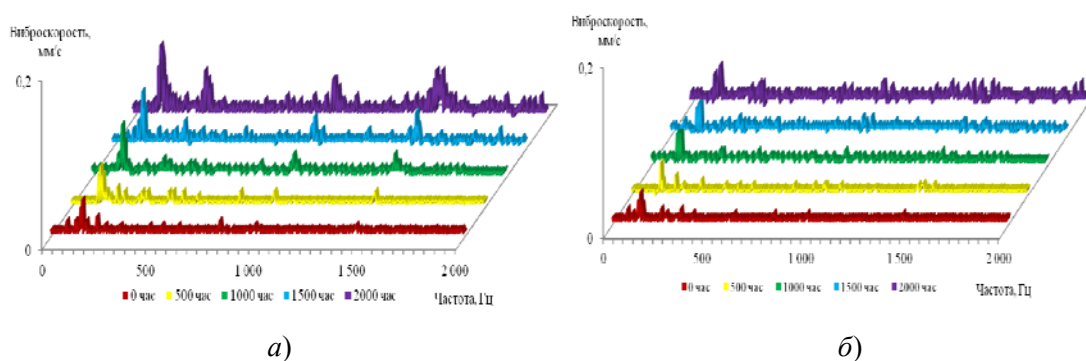


Рис. 1. Изменение спектров виброскорости серийного (а) и с упрочненными вакуумно-плазменным покрытием ZrN толщиной 0,7 мкм телами качения (б) подшипников МПЗ 6305 на различных стадиях его эксплуатации

Основываясь на сравнительном анализе данных по измерению спектра виброскорости подшипника на различных этапах его эксплуатации, можно сделать следующие выводы:

а) процесс вакуумно-плазменного упрочнения тел качения подшипников вакуумно-плазменным покрытием нитрид циркония толщиной 0,7 мкм не влияет на начальный общий уровень виброскорости узла трения качения;

б) процесс вакуумно-плазменного упрочнения тел качения является эффективной мерой противодействия росту виброскорости в период эксплуатации подшипников: по истечении расчетного срока эксплуатации общий уровень виброскорости подшипников с упрочненными телами качения на 35–50 % отличался от аналогичного показателя для серийных образцов;

в) нанесение вакуумно-плазменного покрытия нитрид циркония на тела качения подшипников позволяет уменьшить число, а также скорость возникновения и роста дефектов на деталях подшипников.

УДК 621.89

## К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ ТРЕЩИН С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г. П. Тариков

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

В. В. Комраков, А. Т. Бельский

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

Предлагается способ экспериментального решения задач механики трещин, основанный на применении электрического моделирования. Этот способ применяется при решении контактных задач теории упругости. Однако особенностью задачи теории трещин является то, что интегральное уравнение этой задачи не допускает непосредственного электрического моделирования. Поэтому исходную задачу приходится разбивать на две: одна решается теоретически, а вторая – экспериментально методом электрического моделирования.

Дана постановка задачи о трещине в упругом теле. Рассматривается бесконечное упругое тело, в котором имеется плоская трещина. Приведено интегральное уравнение рассматриваемой задачи для случая нормального отрыва. Предполагается, что на обеих поверхностях трещины заданы одинаковые нормальные напряжения, а касательные напряжения равны нулю.

Решение интегрального уравнения сведено к решению дифференциального уравнения Пуассона и интегрального уравнения первого рода. Для решения уравнения Пуассона применяются интегральные преобразования. Интегральное уравнение первого рода предлагается решать методом электрического моделирования. При этом установлена возможность моделирования задач механики трещин соответствующей электростатической задачей. Для практической реализации процесса моделирования использовано специальное электро моделирующее устройство. В качестве примера рассмотрена плоская круговая трещина в упругом теле.

Дана оценка погрешности приближенного решения, полученного методом электрического моделирования. Установлено, что она не превышает 6 %.

УДК 621.01

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В КУЛАЧКОВОЙ ПАРЕ

**А. Т. Бельский**

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

**Г. П. Тариков**

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

Широкое применение кулачковых механизмов в технике объясняется возможностями этих механизмов. Они применяются в станках для подачи заготовок, в конвейерах и транспортерах управляют механизмами дозаторов или концевых выключателей, в двигателях внутреннего сгорания они перемещают выпускные и впускные клапаны. К существенному недостатку кулачкового механизма относится наличие значительного удельного давления на поверхностях соприкасающихся звеньев, что приводит к повышенному износу трущихся поверхностей и уменьшению долговечности механизма.

Известно, что мощностные, экономические и экологические показатели двигателей внутреннего сгорания во многом зависят от износостойкости деталей кулачковой пары. В свою очередь износостойкость в большей степени зависит от удельного давления на контактной поверхности. Поэтому данная работа была посвящена определению оптимальных параметров кулачкового механизма с целью уменьшения удельного давления и, следовательно, износа в кулачковой паре двигателя внутреннего сгорания.

Для определения удельного давления  $q$  в месте соприкосновения кулачка с коромыслом используем формулу Герца

$$q = 0,418 \sqrt{\frac{E_{np} N}{b\rho}},$$

где  $E_{\text{уп}}$  – приведенный модуль упругости;  $N$  – нормальное давление в месте контакта;  $b$  – ширина кулачка;  $\rho$  – радиус кривизны профиля в точке соприкосновения.

Нормальную силу  $N$ , действующую в месте контакта, можно определить по зависимости

$$N = \frac{\Sigma M_c}{l}, \text{ тогда } q = 0,418 \sqrt{\frac{E \cdot \Sigma M_c}{b \cdot l \cdot \rho}},$$

где  $\Sigma M_c$  – сумма моментов всех сил, действующих на коромысло за исключением нормальной силы  $N$ , относительно шарнира  $C$ .

Из данной зависимости следует, что удельное давление может становиться бесконечно большим в двух случаях:

1) в случае, когда  $\rho = 0$ ; 2) при  $l = 0$ .

Используя заменяющий механизм, были найдены зависимости для определения величин  $l$  и  $\rho$ .

С учетом зависимостей для определения величин  $l$  и  $\rho$  была получена зависимость для определения удельного давления в кулачковой паре, решение которой позволило получить оптимальные параметры кулачкового механизма.

#### Литература

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1975. – 640 с.

УДК 62-33

### ИЗМЕНЕНИЕ СИЛ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОАППАРАТУРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко, Ю. А. Андреев

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

Влияние низких и высоких температур на рабочую жидкость в течение длительного или кратковременного времени могут привести к неустойчивой работе гидрофицированного оборудования технологических и мобильных машин.

Целью настоящей работы является установление функциональной связи между температурой рабочей жидкости и сил, действующих в направляющих гидроаппаратах (гидрораспределителях) технологических и мобильных машин.

При перемещении золотника необходимо, чтобы к нему была приложена некоторая сила, которая способна сдвинуть золотник из состояния покоя. В процессе работы эта сила должна преодолевать инерционную нагрузку золотника и силы сопротивления движению, которые состоят из сил трения золотника, а также гидродинамической силы

$$F = F_{\text{ин}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{ж}} + F_{\text{гд}},$$

где  $F_{\text{ин}} = m \cdot a$  – инерционная сила;  $m$  – масса золотника;  $a$  – ускорение;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения;  $F_{\text{ж}}$  – сила трения жидкости;  $F_{\text{гд}}$  – гидродинамическая сила.

Практически все силы зависят от температуры рабочей жидкости, но их можно максимально минимизировать. При проектировании гидроаппаратов должен учитываться коэффициент теплового расширения материалов, должны применяться различные конструктивные решения, уменьшающие действие радиальных сил.

Гидродинамическая сила  $F_{\text{гд}}$  в момент открытия проходной щели препятствует движению золотника, пытаясь вернуть его в исходное положение. Данные силы зависят от величины расхода, давления и скорости протекающей рабочей жидкости через проходные щели гидроаппарата

$$F_{\text{гд}} = \frac{2 \cdot Q \cdot \vartheta \cdot \mu \cdot \cos \alpha}{\nu}$$

В результате компьютерного моделирования, получены значения осевых гидродинамических сил при температурах:  $T_1 = +50 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $T_2 = -30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Осевая гидродинамическая сила напрямую зависит от температуры рабочей жидкости. При работе гидрораспределителя с температурой рабочей жидкости  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$  происходит резкий скачок увеличения гидродинамической силы, а при  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  происходит плавное ее увеличение.

Установлены функциональные связи между температурой рабочей жидкости и сил, действующих в направляющих гидроаппаратах. Выявлено, что практически все силы зависят от температуры рабочей жидкости. Величина сил трения покоя, движения и трения жидкости имеет небольшую величину по сравнению с гидродинамической. Таким образом можно сказать, что сила, которую необходимо приложить к запорно-регулирующему элементу в начальный момент открытия гидрораспределителя, в большей степени зависит от гидродинамической силы, на которую в свою очередь существенное влияние оказывает температура рабочей жидкости.

#### Л и т е р а т у р а

1. Лаевский, Д. В. Влияние сил адгезии твердых тел на молекулярный слой жидкости / Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко, Ю. А. Андреев // Современные проблемы гидропневмосистем машин : Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2011 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2011. – С. 46–53.
2. Лаевский, Д. В. Закономерности течения потока жидкости и действие гидродинамических сил на золотниках пропорционального гидрораспределителя / Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко // Современные проблемы гидропневмосистем машин : Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2011 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2011. – С. 63–71.

УДК 62-33

### **ВЛИЯНИЕ СИЛ ТРЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОАППАРАТУРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

**Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко, Ю. А. Андреев**

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

Целью настоящей работы является установление функциональной связи между температурой рабочей жидкости и силами трения, действующих в направляющих гидроаппаратах.

Известно, что при длительном состоянии покоя золотник труднее сдвинуть с места, чем сразу после его остановки. Данное увеличение силы связано с эксцен-

тричным (наихудший вариант (рис. 2) расположением золотника и действующих на него радиальных сил.

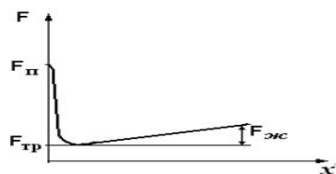


Рис. 1. Схема зависимости сил трения от скорости движения

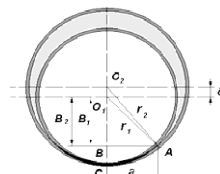


Рис. 2. Схема расположения золотника в корпусе гидрораспределителя

При движении золотника сила трения покоя  $F_{II}$  уменьшается (рис. 1) и на золотник действуют: сила трения  $F_{тр}$  и сила трения жидкости  $F_{ж}$ :

$$F_{тр} = f_a \cdot l \cdot p \cdot D \cdot \sqrt{\frac{2\Delta \cdot p}{E_m \cdot \delta} \cdot \left(2 - \frac{2\Delta \cdot p}{E_m \cdot \delta}\right)}, \quad F_{ж} = \vartheta \cdot f_{ж} \cdot l \cdot p \cdot D \cdot \sqrt{\frac{2\Delta \cdot p}{E_m \cdot \delta} \cdot \left(2 - \frac{2\Delta \cdot p}{E_m \cdot \delta}\right)},$$

где  $f_a$  — коэффициент трения движения;  $f_{ж}$  — коэффициент трения скольжения;  $E_m$  — модель упругой среды;  $\vartheta$  — скорость перемещения золотника [1].

Сила трения  $F_{тр}$  зависит от действия радиальных сил, которые при движении не исчезают. На границе твердой и жидкой фаз в результате атомарного и молекулярного взаимодействия сред образуется граничный (адсорбционный) слой. Толщина смазочной пленки рабочей жидкости зависит, главным образом, от площади адсорбирующей поверхности, дипольного момента, возникающего от радиальных сил, температуры рабочей жидкости, а также, от диэлектрической проницаемости адсорбционного слоя молекул. С увеличением температуры рабочей жидкости расстояние взаимодействия и толщина адсорбционного слоя молекул с полем поверхности микронеровности уменьшается. Толщина адсорбционного слоя молекул изменяется в диапазоне  $10^{-9}$ – $10^{-7}$  м при изменении температуры рабочей жидкости [2].

Если расстояние между металлическими поверхностями значительно больше (рис. 3), чем толщина граничного слоя (область I), то сила сопротивления сближению металлических поверхностей не зависит от расстояния между ними. Начиная с толщины граничного слоя  $h_{тр}$ , сила сопротивления сближения рабочей среды начинает возрастать (область II) и при достижении некоторого остаточного граничного слоя  $h_{мин}$  становится большей (область III). На практике величина адсорбционного слоя составляет  $2$ – $3 \cdot 10^{-6}$  мкм.

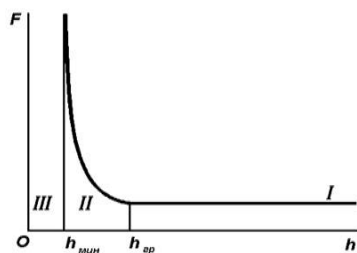


Рис. 3. Изменение силы сопротивления сближения механических поверхностей

Из вышеизложенного очевидно, что практически все силы зависят от температуры рабочей жидкости, но их можно максимально минимизировать. При проектировании гидроаппаратов должен учитываться коэффициент теплового расширения материалов, должны применяться различные конструктивные решения, уменьшающие действие радиальных сил.

#### Л и т е р а т у р а

1. Лаевский, Д. В. Влияние сил адгезии твердых тел на молекулярный слой жидкости / Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко, Ю. А. Андреевец // Современные проблемы гидропневмосистем машин : Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2011 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2011. – С. 46–53.
2. Косолапов, В. Б. Расчет толщины смазочной пленки рабочей жидкости на микро-неровностях трибосопряжений гидропривод / В. Б. Косолапов, С. В. Литовка // Веснік НТУ. – 2010. – № 1. – С. 36–41.

## СЕКЦИЯ Б. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.914.1

### МЕТОДИКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Ю.Н. Внуков, А. И. Гермашев

*Запорожский национальный технический университет, Украина*

В авиакосмической отрасли широко применяются детали, имеющие тонкостенные элементы, которые получают путем фрезерования на современных станках с ЧПУ. Обработка таких деталей, ввиду их невысокой жесткости, приводит не только к появлению вибраций, ухудшающих шероховатость обработанной поверхности, но и к значительному снижению размерной точности. Из-за упругой деформации детали установленный припуск снимается не полностью, приводя к отклонениям формы и расположения номинального профиля.

В основу методики оценки эффективности и точности обработки тонкостенных деталей при концевом фрезеровании положено расчет реального объема снимаемого припуска и оценку точности обработки по двум критериям: отклонение от прямолинейности в плоскости EFL и отклонению формы заданного профиля ECL (в соответствии с ГОСТ 24642–81).

Для реализации методики разработано устройство, показанное на рис. 1. Основание устройства 1 жестко закреплено на вертикальной стойке фрезерного станка недалеко от зоны фрезерования. На основании 1 жестко закреплены индикаторные часы (ИЧ-10), у которых имеется наконечник с радиусом  $r = 0,05$  мм – 3 для контакта с обрабатываемой и обработанной поверхностью и пяточка – 2. Индуктивный датчик жестко закреплен на основании 1, он позволяет с высокой точностью записывать профиль обработанной поверхности образца (при продольном перемещении стола) и определять фактический объем удаленного при фрезеровании припуска.

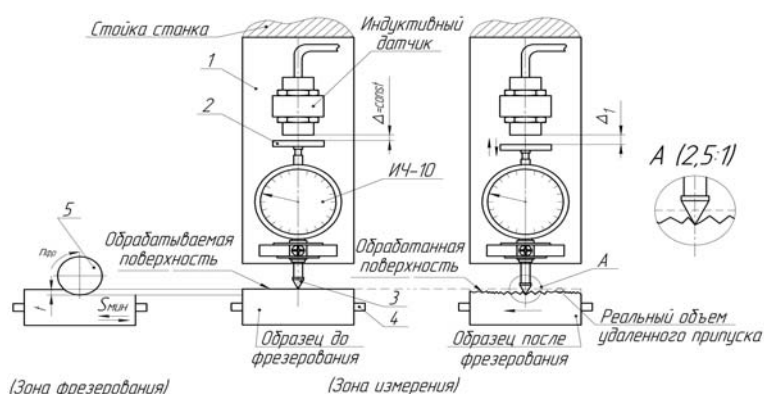


Рис. 1 Схема устройства для измерения удаленного припуска и профиля обработанной поверхности:

1 – основание устройства; 2 – пяточка; 3 – наконечник; 4 – ус тонкостенной детали (пластина); 5 – фреза;  $t$  – припуск на обработку



Благодаря разработанной методике и устройству для ее реализации становится возможным определять, каким образом изменение режимов резания, а также характеристик упругой системы тонкостенной детали влияет на эффективность и точность обработки.

УДК 631.312.021.3:620.178.16

## **ЭЛЕКТРОФРИКЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЗЕМЛЕОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

**В. П. Казаченко**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

**А. Н. Попов, М. А. Попова**

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

Рабочие органы почвообрабатывающих машин в процессе эксплуатации интенсивно изнашиваются в результате абразивного износа на сухих песчаных почвах, так как содержащийся в них кварц имеет твердость до 1200 HV, в то время как твердость металла составляет 350–400 HV.

Целью работы является повышение стойкости к абразивному изнашиванию лемехов плугов и определение оптимальных параметров электрофрикционного плазменного упрочнения.

В основе данного метода поверхностного упрочнения лежит создание сильно-точного разряда в жидкой среде, как правило, в воде, при трении обрабатываемого вращающегося инструмента и его перемещении относительно обрабатываемой поверхности. Под действием сил, возникающих в канале разряда, жидкий и парообразный материал выбрасывается из зоны разряда на поверхность упрочняемого изделия, где охлаждается рабочей жидкостью и застывает на ее поверхности с образованием упрочненного слоя. Одновременно происходит закалка поверхностного слоя основного металла. В данной работе обрабатывающий инструмент, представляющий собой диск диаметром 150 мм и толщиной 20 мм, был изготовлен из чугуна.

Исследования микроструктуры стали проводились на автоматическом структурном анализаторе «EPIQUANT». Твердость определялась на микротвердомере ПМТ-3. Испытания образцов на абразивное изнашивание проводились на дисковой машине трения, в качестве контртела был выбран незакрепленный абразив – песок.

Изучено влияние режимов обработки на твердость и толщину полученного слоя. Величина тока варьировалась от 200 до 500 А, скорость вращения обрабатываемого диска от 1,5 до 3 м/с, скорость подачи от 1 до 2 м/мин.

После электрофрикционного плазменного упрочнения на поверхности стали можно выделить 4 зоны: зона нанесенного слоя, зона упрочненного слоя, промежуточная зона и зона основного металла. Нанесенный слой толщиной до 1 мм состоит из отбеленного чугуна и имеет твердость до 1000 HV. Твердость упрочненного слоя толщиной до 0,6 мм снижается по глубине с 800 до 400 HV, в промежуточной зоне толщиной порядка 0,20 мм наблюдается небольшое снижение твердости, порядка 10 %, по сравнению с основным металлом. В нанесенном слое чугуна наблюдаются трещины, вызванные большими термическими напряжениями. В закаленном слое трещин не наблюдалось. После электрофрикционной плазменной обработки шероховатость поверхности очень высокая, высота неровностей до 0,5 мм. Показано, что

с увеличением силы тока твердость поверхностного слоя увеличивается, скорости подачи и вращения оказывают неоднозначное влияние.

Триботехнические испытания показали, что интенсивность изнашивания поверхностного слоя после электрофрикционного плазменного упрочнения уменьшилась более чем в 5 раз.

УДК 620.178.3

## СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ ПРИ ИХ КОНТАКТНОМ ИЗНАШИВАНИИ

И. Н. Степанкин

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

**Введение.** Процесс контактного выкрашивания, как и другие виды изнашивания, определяется механизмом отделения частиц материала с поверхностного слоя детали. Приложение локальной пульсирующей нагрузки приводит к возникновению внутреннего очага деформации. В нем создается всестороннее неравномерное сжатие. При этом доля касательных напряжений, достигающих своего максимального значения на глубине 0,3–0,5 мм, оказывается достаточно высокой и достаточной для развития микропластической деформации вблизи структурных концентраторов напряжений, а также динамического старения металлической матрицы сплава [1]. Контактное нагружение высокопрочных сталей, структура которых представляет собой гетерогенный композиционный материал, сопровождается перераспределением напряжений и деформаций между структурными составляющими в очаге приложения контактного напряжения. Свойства металлической матрицы, формируемые в результате термической обработки, могут варьироваться в достаточно широком диапазоне за счет степени легирования твердого раствора. Это оказывает существенное влияние на механизм взаимодействия фазовых составляющих ледебуритных сталей – карбидных включений и металлической матрицы.

В работе рассмотрены результаты исследования механизма трансформации структуры высоколегированных сталей Р6М5 и Х12М в процессе их контактного нагружения.

**Объекты и методики исследований.** Объектами исследований являлись карбидные включения и металлическая матрица сталей ледебуритного класса. Их взаимодействие оценивали с помощью численного моделирования, применяя метод конечных элементов. Экспериментальная проверка полученных результатов проводилась на образцах из сталей Х12М и Р6М5 при их контактном пульсирующем нагружении напряжениями свыше 1000 МПа.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Напряжено-деформированное состояние в окрестности карбидных включений, отличающихся более высокими упругими свойствами, чем металлическая матрица, стимулирует процессы пластического течения в окрестности частиц. Несмотря на высокую твердость металлической матрицы высокопрочных сталей, ее всестороннее неравномерное сжатие вблизи жестких первичных карбидов способствует трансформации структуры. Происходит разрушение включений без потери связи на границе включение–матрица. Материал матрицы заполняет промежутки между фрагментами частиц, что полностью изменяет текстурный рисунок в очаге контактного нагружения. Большое влияние на способность к деструктуризации без образования внутренних дефектов на границе

включение–матрица оказывает присутствие остаточного аустенита. Он увеличивает пластичность матрицы, повышая степень измельчения карбидной фазы.

Результаты оценки контактного изнашивания исследованных сталей позволили сформулировать требования к термической обработке различных видов штампового инструмента с целью адаптации его структуры к конкретным эксплуатационным условиям.

#### Литература

1. Рыжов, Н. М. Технологическое обеспечение сопротивления контактной усталости цементуемых зубчатых колес из теплостойких сталей / Н. М. Рыжов // *Металловедение и терм. обработка металлов.* – 2010. – № 6. – С. 39–45.

УДК 620.18

### К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ Р6М5

Л. С. Верещагина, И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков

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

**Введение.** Лазерная обработка высоколегированных инструментальных сталей является современным высокотехнологичным способом получения поверхностно модифицированного слоя. Интенсивное энергетическое воздействие на сплав обеспечивает получение в тонком поверхностном слое неравновесных твердых растворов, в которых растворяются практически все легирующие элементы. Создаются условия для полного устранения карбидной фазы и получения аустенитной структуры. Возможность изменения режимов обработки обеспечивает расширение диапазона свойств структурных вариаций в модифицированном слое.

**Объекты и методики исследований.** В работе исследовано влияние лазерной обработки на морфологию поверхностного слоя стали Р6М5. Экспериментальные образцы подвергали предварительной обработке – закалке и трехкратному отпуску для получения твердости 63–64HRC и структуры мартенсит + карбиды. Поверхностное модифицирование проводили на иттербиевом лазере с длиной волны излучения 1070 нм. Мощность излучения при обработке всех экспериментальных образцов составляла 1,3 кВт. Сканирование лазерного пучка с частотой 220 Гц в поперечном направлении обеспечивало формирование зоны квазистационарного нагрева размером 0,7 × 6 мм. Продольное перемещение по обрабатываемой поверхности образцов производилось машинным способом с скоростями 600 - 1350 мм/мин. Наиболее низкая скорость перемещения подбиралась опытным путем, с целью достижения эффекта частичного оплавления на боковой поверхности образцов. Обработка всех последующих образцов производилась с постепенным ускорением для снижения степени нагрева поверхностного слоя. Для анализ структуры и свойств модифицированных слоев использовали оптический микроскоп Метам РВ22 и микротвердомер ПМТ-3.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Наибольшая глубина слоя получена в результате обработки со скоростью 600 мм/мин. Структура упрочненного слоя в этом случае отличается внешней гомогенизированной прослойкой толщиной не менее 100 мкм. Отличительной особенностью металла является инертность к стандартному травителю на основе азотной кислоты, что обусловлено формирова-

нием металлической матрицы с большим содержанием остаточного аустенита. Распределение микротвердости по сечению металла свидетельствует о том, что глубина зоны термического влияния значительно больше наружного аустенизированного слоя. Строение наиболее глубоких слоев, сформированных при скоростях обработки 600–900 мм/мин, включает три зоны. В наружной зоне, имеющей однородную структуру, отмечено незначительное увеличение твердости по отношению к сердцевине. Под ней располагается зона максимальной твердости, в которой присутствуют не полностью растворенные карбидные включения. Третья – переходная зона – имеет пониженную твердость по отношению к упрочненному слою и сердцевине, что, по-видимому, обусловлено протеканием процессов самоотпуска. Увеличение скорости лазерной обработки позволяет уменьшить толщину модифицированного слоя и изменяет его морфологию. После обработки со скоростью свыше 750 мм/мин не образуется внешняя зона модифицированного слоя с пониженной твердостью и полным отсутствием карбидной фазы. Распределение микротвердости по сечению плавно изменяется до значений порядка 8 ГПа, свойственных сердцевине металла. Полная глубина поверхностной модификации изменяется от 0,5 до 1,2 мм при изменении скорости обработки с 1350 до 600 мм/мин. При этом толщина слоя, в котором отмечается высокая степень гомогенизации (аустенитизации) металлической матрицы, составляет от 20 до 150 мкм.

УДК 621.793.092

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОГО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**М. И. Лискович**

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

Одной из важнейших характеристик металлопорошкового покрытия [1], оказывающей значительное влияние на его антифрикционные качества при изготовлении втулок подшипников скольжения, фрикционных муфт, скользящих токосъемников, а также для ресурсосберегающей модернизации промышленных технологий изготовления других подобных изделий иного назначения, является пористость. К параметрам, определяющим поровую структуру, относятся: пористость, ее распределение по объему материала; вид пористости; удельная поверхность пор; состояние поверхности пор.

Расчет распределения открытой пористости по размерам пор обычно проводят по ГОСТ 26849–86 либо применяют модифицированные методы, например, метод взаимного вытеснения жидкостей Н. А. Фигуровского [2]. Их применение для исследования металлопорошкового покрытия, получаемого при вытяжке полых композиционных изделий, либо невозможно, либо очень трудоемко.

Поэтому был предложен метод, при котором образец взвешивался в воде. Фиксировалась масса образца с момента погружения его в жидкость в течение 1 мин через каждые 10 с. Затем 2, 4, 7 и 10 мин с момента погружения. Был построен график, показывающий зависимость изменения массы образца по времени (рис. 1).

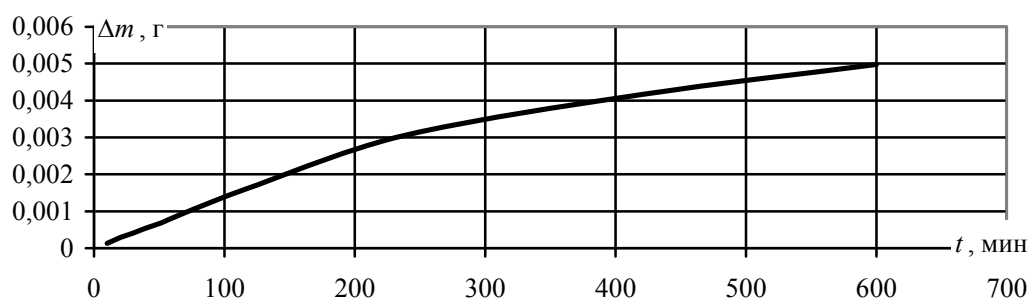


Рис. 1. График зависимости

При взвешивании исследуемых образцов в воде масса образца с течением времени увеличивалась, что свидетельствовало о заполнении пор покрытия водой. На основании чего можно сделать вывод о возможности применения данного метода для изучения пористости данных образцов и подобных им изделий, в которых невозможно или затруднительно использовать стандартные методы исследования.

#### Литература

1. Способ изготовления полого композиционного изделия : патент 3933Респ. Беларусь / Н. И. Стрикель, Ю. Л. Бобарикин, М. И. Лискович ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; заявл. 03.06.01.
2. Соляков, В. К. Определение размеров пор в искусственном графите методом взаимного вытеснения жидкостей / В. К. Соляков, В. А. Черных // Конструкц. материалы на основе графита : сб. тр. № 92. – М. : Металлургия, 1966. – С. 67–74.

УДК 666.151:666.1.053.2

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ РАСКЛИНИВАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ РЕЗКИ СТЕКЛА

П. А. Хило, И. И. Злотников

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

Основным способом резки листового стекла является нанесение на его поверхность твердосплавным роликом линии реза с последующим разломом листа. Для снижения усилия разлома применяют технологические жидкости, которые, проникая в магистральную трещину, образующуюся под режущим инструментом, создают в ней расклинивающее давление. Создание новых эффективных расклинивающих жидкостей для резки стекла является актуальной задачей технологии обработки материалов.

Целью данной работы является разработка состава новой расклинивающей жидкости для резки стекла.

На основе анализа сил молекулярного взаимодействия двух твердых диэлектриков был сделан вывод, что для того, чтобы находящаяся в узком зазоре магистральной трещины расклинивающая жидкость обеспечивала минимальную силу притяжения поверхностей стекла и, соответственно, минимальное усилие разлома стекла, необходимо отсутствие перекрывающихся полос поглощения в спектрах стекла и жидкости, а при невозможности этого ширина зоны перекрытия полос должна быть минималь-

ной. Было показано, что среди многих классов жидкостей этому условию наиболее удовлетворяют предельные углеводороды.

По результатам проведенных исследований было предложено использовать в качестве основы жидкости для резки стекла жидкий парафин, содержащий углеводороды фракции  $C_{10}$ – $C_{13}$  нормального строения. Для снижения вязкости в жидкий парафин добавляли изооктан (2,2,4-триметилпентан), который в отличие от октана нормального строения не обладает неприятным запахом. Изооктан вводили в количестве 8–80 мас. %. Сочетание жидкого парафина и изооктана позволяет оптимально регулировать вязкость, проникающую способность и испаряемость жидкости для резки стекла – при низких давлениях на режущий инструмент (при ручной резке) рекомендуется использовать жидкости с большим содержанием изооктана, а при более высоких давлениях (автоматические линии) – с большим содержанием жидкого парафина. Для устранения образования микросколов и стеклянной пыли при резке стекла при больших давлениях на ролик в жидкость добавляли силиконовое масло в количестве 2–3 мас. %. В таблице приведены составы (мас. %) испытанных жидкостей и усилие разлома стекла при их использовании.

**Составы и свойства расклинивающих жидкостей**

Номер состава	1	2	3	4	5
Жидкий парафин	20	50	50	50	92
Изооктан	80	50	48	47	8
Полисилоксановое масло ПМС-100	–	–	2	3	–
Усилие разлома стекла, Н	35	36	34	34	44

Испытания, проведенные в сравнении с жидкостью для резки стекла АЦЕ-КАТ-5503 (Германия), применяемой на ОАО «Гомельстекло», для которой усилие разлома составило 30–40 Н, свидетельствуют о высоких эксплуатационных свойствах разработанной технологической жидкости.

УДК 621.794.61

### **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСНЫХ ИОНОВ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ**

**С. В. Пискунов, А. Ю. Жура**

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

Микродуговое оксидирование (МДО) широко применяется в последнее время для получения на алюминии и его сплавах оксидно-керамических покрытий различного функционального назначения. Регулируя составы электролита и режимы проведения анодирования можно получать антикоррозионные, износостойкие, декоративные, диэлектрические и другие покрытия [1], [2].

В настоящей работе исследованы особенности МДО алюминиевых сплавов в щелочных электролитах, содержащих ионы поливалентных металлов, и их влияние на кристаллическую структуру и свойства получаемых покрытий. Кроме того, проведены исследования по поиску путей снижения энергозатратности процесса МДО.

Установлено, что введение в состав базового силикатно-щелочного электролита ионов поливалентных металлов не оказывает принципиального влияния на характер протекания процессов МДО, лишь несколько снижается напряжение, что связано с увеличением проводимости раствора. Покрытия, формируемые в таких электролитах, имеют характерную окраску, связанную с внедрением примесных ионов в кристаллическую структуру  $Al_2O_3$ . Свойства некоторых покрытий, сформированных при оптимальном режиме, приведены в таблице.

**Свойства модифицированных покрытий**

Характеристика	Модификатор электролита				
	нет	$CuSO_4$	$NiSO_4$	$FeSO_4$	$K_2Cr_2O_7$
Толщина, мкм	65	70	70	60	65
Микротвердость, ГПа	16,0	18,0	18,0	15,5	16,0
Шероховатость Ra, мкм	0,25	0,25	0,25	0,24	0,23
Адгезия к ПА 6, кН/м	1,42	1,88	1,84	1,55	1,98

Установлено, что повышение концентрации базового электролита в 3 раза не повлияло на потребление электроэнергии, но уменьшило конечное напряжение, толщина покрытий при этом увеличилась на 30–38 %. Увеличение плотности тока в 2 раза коррелирует с увеличением энергозатрат. Повышение времени МДО с 5 мин до 20 приводит к увеличению потребляемой энергии примерно в 4,3 раза, а с 20 до 40 мин – в 2,1 раз. Использование переменного или выпрямленного тока при одной и той же плотности тока существенно не влияет на энергозатраты, однако использование переменного тока позволяет получать покрытия на 20–25 % толще, чем при использовании выпрямленного тока.

#### Л и т е р а т у р а

1. Белеванцев, В. И. Микроплазменные электрохимические процессы. Обзор / В. И. Белеванцев, О. П. Терлеева, Г.А. Марков // Защита металлов. – 1998. – Т. 34, № 5. – С. 469–484.
2. Области применения и свойства покрытий, получаемых микродуговым оксидированием / Э. С. Атрощенко [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1996. – № 3. – С. 8–11.

УДК 678.029:678.046.3

### **ВЛИЯНИЕ АДсорбЦИОННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА ЕГО СВОЙСТВА**

**И. И. Злотников, П. А. Хило**

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

**В. М. Шаповалов**

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

Ультрадисперсный (УД) диоксид кремния является перспективным наполнителем полимерных материалов, который при введении в полимер в сравнительно малых количествах (0,1–3,0 мас. %) способен значительно повышать физические и ме-

ханические свойства. Основной трудностью при получении таких полимерных композитов является сложность достижения равномерного распределения УД частиц в полимерной матрице из-за их склонности к агломерированию, что приводит к неоднородности свойств материала и снижению его показателей. Агломерирование связано в первую очередь с высокой поверхностной энергией УД частиц и их самопроизвольным стремлением к уменьшению этой энергии.

С целью исключения агрегатирования УД частиц диоксида кремния была исследована возможность снижения их поверхностной энергии путем экранирования их поверхности адсорбированными мультимолекулярными слоями гидрофобных органических соединений.

Адсорбционное модифицирование осуществляли следующим образом. Высушенный диоксид кремния диспергировали в толуоле при температуре 70–80 °С путем перемешивания с помощью лопастной мешалки в течение 15 мин до образования стабильного органозоля диоксида кремния в толуоле. Стабильные золи диоксида кремния представляют собой прозрачные опалесцирующие жидкости, нерастворенный диоксид кремния (при наличии такового) осаждается на дне. Если в толуол предварительно добавить изопропиловый спирт в количестве 10–12 % от массы толуола, то растворение (диспергирование) происходит быстрее и количество растворенного диоксида кремния достигает 35 мас. %, а размер частиц диоксида кремния составляет 10–20 нм. Затем в полученный органозоль добавляли полиэтиленовый воск и перемешивали до полного растворения частиц воска. Полученную смесь сушили до полного удаления растворителя. Модифицированный диоксид кремния представляет собой ультрадисперсный гидрофобный порошок, который не агломерируется и не слеживается в процессе хранения. Сравнительные свойства полученного гидрофобного диоксида кремния приведены в таблице.

#### Свойства модифицированного кремнезема

Свойства	Модифицированный	Исходный
Насыпная плотность, г/л	54	140-170
Размер частиц, мкм	20–25	280-320
Степень гидрофобности, %	99,3	0

Модифицированный кремнезем вводили в количестве 3–5 мас. % в полиэтилен различных марок. Испытания показали, что применение разработанного наполнителя позволяет увеличивать механическую прочность на 6–80 %, в то время как исходный диоксид кремния повышает прочность на 20–40 %.

УДК 54-161.6; 544.236.2

### ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕКЛОВАНИЯ СТЕКЛООБРАЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

**Я. О. Шабловский, В. В. Киселевич**

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

На практике температуру перехода вещества в стеклообразное состояние, как правило, отождествляют с характеристической точкой на экспериментальной кривой, в которой происходит смена качественного поведения температурной зависи-



мости физического свойства вещества. Правила обработки таких экспериментальных кривых до сих пор не стандартизированы, что во многом обуславливает отсутствие согласованности между значениями температур стеклования, публикуемыми в работах разных авторов. В связи с этим нами разработана методика определения температуры стеклования, базирующаяся на унифицированных правилах аналитической обработки экспериментальных кривых температурных зависимостей физических свойств стеклообразующих веществ.

Реализация методики осуществляется следующим образом:

1. Определяют тип характеристической точки на кривой: точка перегиба либо точка максимума.

2. Выбирают рабочую окрестность характеристической точки. Для этого на оси температур по обе стороны от предварительно визуально определенной характеристической точки откладывают отрезки равной длины, на которых обеспечивается наилучшее приближение экспериментальных данных аппроксимирующей функцией. Концы этих отрезков определяют температурные границы рабочей окрестности характеристической точки.

3. Осуществляют аппроксимацию экспериментальной кривой в рабочей окрестности характеристической точки полиномиальной функцией вида:

$$f(T) = a_0 + a_1T + a_2T^2 + \dots + a_nT^n, \quad (1)$$

где  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  – коэффициенты аппроксимации;  $n$  – степень полинома ( $n = 5$  для точки перегиба и  $n = 4$  для точки максимума).

4. Определяют коэффициенты аппроксимации с помощью специализированных программ математической обработки данных (MatLab, MathCad, Curve Expert и др.).

5. Находят производную второй степени  $f''(T)$  (для точки перегиба) либо производную первой степени (для точки максимума) от аппроксимирующей функции (1) и, решая кубическое уравнение

$$f''(T) = 0 \text{ (для точки перегиба)}$$

либо

$$f'(T) = 0 \text{ (для точки максимума),}$$

определяют значение абсциссы характеристической точки (точки перегиба либо точки максимума) на экспериментальной кривой, соответствующее значению искомой температуры стеклования.

В завершение отметим основные преимущества аппроксимации экспериментальных кривых с использованием полиномиальной функции (1) по сравнению с аппроксимацией сглаживающими кубическими сплайнами, наиболее часто применяемой для оценки температуры перехода вещества в стеклообразное состояние: 1) хорошее приближение полиномиальной функции к экспериментальной кривой; 2) возможность аналитического дифференцирования полиномиальной функции и, как следствие, нахождения аналитического решения кубического уравнения; 2) простота многократного дифференцирования полиномиальной функции.

УДК 539.37:621.778.074

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ПРЕЦИЗИОННЫХ ГРАВИОР ЧЕКАНОЧНЫХ ШТАМПОВ****И. А. Панкратов***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Процессы обработки металлов давлением (ОМД) находят широкое применение во многих отраслях промышленности: машиностроении, авиастроении, вагоностроении, судостроении и др.

Исследования, проводимые в программах конечно-элементного моделирования, позволяют подобрать оптимальный технологический процесс при обработке металлов давлением, оптимальные, рациональные марки материала в зависимости от напряженно-деформированного состояния конструкции и др.

Объектом исследований является чеканочная оснастка для изготовления государственных наград Республики Беларусь.

Стойкость штампов обусловлена наработкой на отказ геометрией формообразующей поверхности матриц штампов. Так, формообразующая поверхность матрицы для чеканки медальона ордена «Ф. Скарына» имеет ярко выраженный концентратор напряжений в виде канавки, формирующей окантовку медальона (рис. 1).

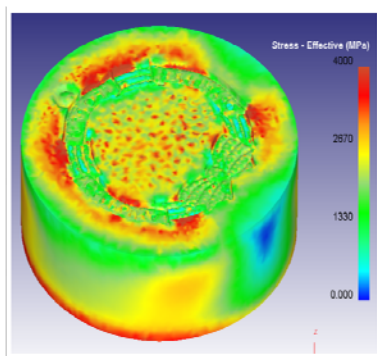


Рис. 1. Матрица для чеканки ордена «Ф. Скарына»

Указанные дефекты являются следствием пластической деформации, которая возникает в результате воздействия высоких по амплитуде пульсирующих напряжений, при условии, что материал находится в условиях всестороннего неравномерного сжатия [1].

Результатом моделирования процесса чеканки в программе DEFORM 3D было определение напряженно-деформированного состояния заготовки и инструмента.

Производственные испытания штампа для чеканки медальона ордена «Ф. Скарына» показали, что после получения 150 поковок рабочая поверхность матрицы и пуансона не имеет дефектов. Штамп может эксплуатироваться далее. Ожидаемое повышение стойкости чеканочной оснастки для изготовления правительственных наград Республики Беларусь – не менее двух раз.

**Л и т е р а т у р а**

1. Штремель, М. А. Прочность сплавов : в 2 ч. / М. А. Штремель ; Моск. ин-т стали и сплавов. – М. : МИСИС, 1999. – Ч. 2. Деформация. – 1999. – 384 с.

УДК 621.785.5

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТ КАРБИДНЫХ И КАРБОНИТРИДНЫХ СЛОЕВ ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Е. П. Поздняков

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

**Введение.** Нередко для повышения надежности и долговечности деталей машин, работающих в условиях трения и пульсирующих контактных нагрузок, применяют химико-термическую обработку. Широко применяются высокотемпературные процессы цементации и нитроцементации.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований являлись диффузионно-упрочненные слои конструкционных сталей 40X и 30XГСА. Химико-термическая обработка образцов заключалась в проведении 12-часовой цементации и нитроцементации при температуре 920 °С в древесно-угольном карбюризаторе. Модификацию карбюризатора осуществляли  $\text{BaCO}_3$  и  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . В качестве окончательной обработки проводили закалку с температуры 860 °С с последующим охлаждением в масле и отпуск при температуре 200 °С в течение 1 ч. Дополнительно исследовали влияние криогенной обработки в жидком азоте, которую осуществляли после закалки.

**Результаты исследования и их обсуждение.** До проведения закалки структура сталей после цементации представлена перлитом со скелетообразным распределением цементитной фазы. Микроструктура нитроцементованных образцов из стали 40X состоит из перлита. В структуре образцов из стали 30XГСА присутствует цементитная сетка.

После закалки структура цементованных образцов обеих исследуемых сталей представлена мартенситом отпуска и карбидной фазой. В стали 40X включения разрозненные угловатые, а в стали 30XГСА отмечены остатки цементитной сетки. Структура нитроцементованных образцов из стали 40X представляет мартенсит отпуска. В то же время поверхностный слой стали 30XГСА сохраняет некоторое количество цементитной сетки.

Исследование распределения микротвердости по сечению упрочненного слоя сталей показывает, что полная глубина диффузионного слоя составляет не менее 1,2 мм. Это соответствует длительности высокотемпературного насыщения поверхности. Кривая распределения микротвердости в поверхностном слое образцов из стали 30XГСА имеет протяженную горизонтальную площадку до глубины 0,9–1,0 мм, что обеспечивает повышенное сопротивление контактной усталости [1]. Микротвердость поверхностного слоя всех партий образцов достигает значения 7500–8000 МПа (59–62HRC). Твердость сердцевины составляет порядка 4900–5500 МПа (48–52HRC).

Применение криогенной обработки не оказывает существенного влияния на структуру рассмотренных слоев. Сочетание высокого значения твердости сердцевины и отсутствие резкого градиента изменения твердости по сечению диффузионного слоя позволяет получить сочетание оптимальной прочности и жесткости, необходимой для успешного сопротивления упрочненного сплава повышенным контактным нагрузкам, без его растрескивания.

### Литература

1. Рыжов, Н. М. Технологическое обеспечение сопротивления контактной усталости цементуемых зубчатых колес из теплостойких сталей / Н. М. Рыжов // МиТОМ. – 2010. – № 7. – С. 39–45.

УДК 621.762

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПЕКАНИЯ АМОРФНЫХ И МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

М. Н. Верещагин, С. И. Кириллюк

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

Для электроспекания порошков используются различные методы и способы пропускания электрического тока и характера механического окружения. Способ обработки определяет ход процесса и в конечном счете свойства спеченного продукта. Более всего используются следующие виды спекания порошков электрическим током: спекание «сопротивлением», импульсное спекание, электроразрядное (искровое) спекание. Спекание «сопротивлением». Этот вид обработки предполагает пропускание через порошок постоянного или низкочастотного (обычно промышленной частоты) тока; к порошку прикладывают при этом постоянное неконтролируемое либо нулевое давление (в последнем случае ток пропускают через ранее спрессованную заготовку, не подвергающуюся давлению в процессе спекания).

В нашей работе для спекания использовали метастабильные порошки с аморфной и метастабильной структурой, полученные из быстрозакаленных лент полученными методом спиннингования на медный диск. Ленту, полученную методом спиннингования, измельчали в атриторе. Для спекания использовалась фракция порошка размером 50–160 мкм. На дифрактограмме порошка отсутствовали максимумы кристаллической фазы, а на кривых ДТА при нагреве наблюдался сдвоенный экзотермический пик, эндотермический аналог которого при охлаждении отсутствовал, что подтверждает образование аморфной структуры.

При спекании порошка «сопротивлением», током промышленной частоты под постоянным давлением, были получены компактные образцы с плотностью до 98 % от плотности исходного материала. В процессе спекания достигалось практически полное плавление частиц порошка, что нарушало аморфную, метастабильную структуру и обеспечивало высокую плотность и прочность компактных образцов

Спекание импульсным током. В этом виде обработки использовался ток от трансформатора, при этом прикладывалось постоянное давление. В ходе спекания импульс тока проходил через порошок, засыпанный в изолирующую пресс-форму. При этом происходил нагрев и спекание частиц.

При этом за время прохождения импульса несколько миллисекунд материал в местах контакта нагревался и сплавлялся, образуя компактное изделие. Так как время прохождения импульса не велико, основная масса материала не успевает нагреться, приобрести температуру выше температуры кристаллизации, и, по сути, сохраняет исходное метастабильное состояние. Места расплавов в точках контакта быстро охлаждаются за счет увода тепла в объем частиц и тем самым тоже сохраняют метастабильную структуру. Приложенное давление деформирует и уплотняет спекаемый порошок.

На лабораторной установке из исходных метастабильных порошков были получены компактные образцы путем электроимпульсного спекания. Компактные изделия имели плотность 60–70 % от плотности исходного материала, их прочность была достаточна для дальнейшей механической обработки при металлографическом исследовании – участки металла фактически не травятся, что говорит об аморфной, метастабильной структуре полученных образцов. Для получения аморфных и метастабильных компактных изделий предпочтительнее спекание импульсным током в ущерб плотности и прочности полученных компактных изделий.

УДК 537.868:620.22

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ  
ПОЛИМЕРНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ****И. В. Царенко***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь***В. А. Банный***Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», Республика Беларусь*

Развитие техники и радиоэлектроники привело к массовому использованию оборудования и приборов, функционирующих в СВЧ-диапазоне (3-30 ГГц). Негативным последствием этого процесса является постоянное повышение уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды. Кроме того, обострились проблемы электромагнитной безопасности и совместимости радиоэлектронной техники. Радиопоглощающие материалы (РПМ) и электромагнитные экраны (ЭМЭ) на их основе являются эффективным средством решения этих проблем. Существует широкая номенклатура ЭМЭ, огромный выбор компонентов и способов формирования композитных РПМ. Тем не менее при создании современных композитных РПМ необходим поиск новых связующих и компонентов, обеспечивающих требуемые радиофизические характеристики.

Целью данной работы является разработка эффективных РПМ и ЭМЭ на основе полимерных композитов, функционирующих в СВЧ-диапазоне, а также анализ механизмов взаимодействия СВЧ-излучения и полимерных композитов в соответствии с современными представлениями радиофизики о возбуждении, распространении и преобразовании радиоволн в веществе и с учетом физико-химического взаимодействия компонентов РПМ и технологических особенностей формирования ЭМЭ.

Основная задача при разработке РПМ и ЭМЭ – это оптимизация их конфигурации, размеров, состава и структуры для обеспечения требуемого коэффициента отражения электромагнитных волн в заданном диапазоне частот при минимальных толщине и массе. Термическое формирование наполненных металлами полимерных композитов сопровождается физико-химическим взаимодействием компонентов. При контактировании вязко-текучего связующего и наполнителей образуются новые фазы на основе макромолекул и присоединенных к ним атомов и атомных групп вещества наполнителя. Эти новые фазы отличаются по физико-химической структуре от полимеров и вещества наполнителей и оказывают влияние на радиофизические свойства РПМ и ЭМЭ на их основе, что необходимо учитывать при оценке эффективности экранов.

Предложены полимерные композитные РПМ (листовые монолитные и профильные, волокнистые нетканые, многослойные комбинированные и градиентные) с оптимизированными по критериям отражения электромагнитных волн и ослабления их энергии рецептурными, размерными и структурными параметрами. Данные материалы предназначены для использования в диапазоне частот 2-27 ГГц. Получено уравнение, позволяющее рассчитать минимальную толщину РПМ в зависимости от магнитной проницаемости ферритового наполнителя и частоты излучения.

Применение разработанных ЭМЭ СВЧ-диапазона на основе технологичных композитных термопластичных РПМ является эффективным способом решения актуальных проблем электромагнитной совместимости и инженерной экологии.

УДК 621.88.084

**ТЕРМОСТАБИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ  
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ АНТИФРИКЦИОННОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА****А. С. Фроленков***ОАО «Гомсельмаш», Республика Беларусь***И. В. Царенко, С. И. Красюк***Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь***Е. Н. Волнянко***ГНУ «Институт механики металлополимерных систем  
имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель*

Одним из наиболее эффективных путей повышения надежности и увеличения ресурса работы узлов машин и механизмов является применение композиционных материалов на основе полимеров, которые благодаря комплексному сочетанию свойств способны обеспечить необходимый уровень эксплуатационных параметров. Несмотря на то, что к настоящему времени уже создано большое количество композиционных материалов различного назначения и производство их постоянно расширяется, проблема в целом остается актуальной [1]. К тому же постоянно возрастают и требования, предъявляемые техникой к создаваемым материалам, особенно в области температурных границ их работоспособности и повышения долговечности.

Цель данной работы исследовать термостабильность композиционных полимерных материалов антифрикционного назначения на основе полиамида. В качестве наполнителей использовали графиты различных марок: коллоидно-графитный препарат С-1 (ГОСТ 5.1385–72), графит тигельный ГТЗ (ГОСТ 4596–75), терморасширяющийся графит ТРГ марки Graft EG-350. Расширение ТРГ проводили в печи СВЧ. Материал получали на двухшнековом экструдере марки TSSK 35/40. Исследования материалов проводили на образцах, полученных методом литья на литьевой машине марки EN30. Термостабильность исходных и модифицированных материалов оценивали по изменению механических характеристик в результате термоокисления при температуре 150 °С. Прочностные характеристики материалов определяли по ГОСТ 112262–76 на универсальной машине Instron 5567 (США).

Сравнительная оценка изменения прочностных характеристик исходного и модифицированного полиамида показывает, что наполненные полиамиды стабильно сохраняют высокую прочность при условиях длительного теплового воздействия. Анализ результатов исследования показал, что термостабильность материалов в значительной мере зависит от вида наполнителя. Наиболее термостойкими оказались материалы, наполненные коллоидно-графитным препаратом С-1 и терморасширяющимся графитом ТРГ. Также было установлено, что термическая стабильность материала неоднозначно зависит от содержания наполнителя. При концентрации наполнителя 0,5 % наблюдается увеличение прочностных показателей, в то время как введение уже двух процентов наполнителя приводит к уменьшению прочности материала. Причем эта тенденция сохраняется для всех исследуемых видов графита.

**Литература**

1. Квиклис, А. Й. Наполненные полимерные системы и их свойства / А. Й. Квиклис, Р.Н. Левинкас. – Каунас : Лит. энергет. ин-т, 2004. –192 с.

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕФОРМАЦИОННОГО ДВОЙНИКОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛА ФЕРРОМАГНИТНОГО СПЛАВА $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

О. М. Остриков, Е. В. Шматок

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

Прогнозирование служебной долговечности является важным для успешного практического использования того или иного материала. Уникальные физико-механические свойства монокристалла  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  и их соответствие требуемым характеристикам определяет перспективность практического применения этого материала. В связи с этим повышается актуальность исследования особенностей двойникования и разрушения ферромагнитного сплава  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ .

Целью исследований, проводимых в данной работе, стал анализ уникального двойникового рельефа на поверхности монокристалла.

Объектом изучения стали монокристаллические образцы ферромагнитного сплава  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ , деформированные одноосными знакопеременными нагрузками величиной до 2 МПа.

В результате экспериментальных исследований изучены особенности формы механических двойников, возникающих в мартенситной фазе при наличии в ней аустенитной прослойки. Данная ситуация была обнаружена (рис. 1) на участках образца в области одновременного существования двух фаз.

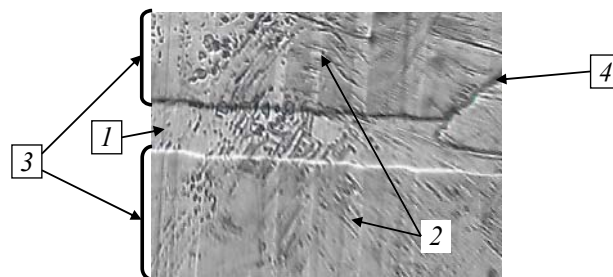


Рис. 1. Двойникование мартенситной фазы на поверхности (100) монокристалла  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ , разделенной аустенитной прослойкой (оптическая микроскопия  $\times 300$ ):  
1 – аустенитная прослойка; 2 – деформационные двойники;  
3 – мартенситная фаза; 4 – трещина

На рис. 1 видна аустенитная прослойка 1 с границами волнообразной формы, перпендикулярно которым образовались деформационные двойники 2, видимые только в мартенситной фазе 3. Также следует отметить, что при встрече прослойки 1 с вершиной трещины 4 бездиффузионного фазового перехода мартенсита в аустенит не происходит. Данное обстоятельство указывает на существенную роль трещины в дислокационных процессах посредством их существенного блокирования.

Таким образом, методом оптической микроскопии исследованы особенности взаимодействия следов компенсации деформирующих воздействий на материал. Показано, что в случае встречи двойниковой прослойки с трещиной происходит ее полное либо частичное торможение.

УДК 539.21

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ НАЛИЧИЕМ ЕДИНИЧНОГО ДВОЙНИКА В ЗЕРНЕ ПОЛИКРИСТАЛЛА РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Т. В. Дробышевская, О. М. Остриков

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

В настоящее время к изделиям машиностроения с точки зрения их уровня качества и долговечности предъявляются весьма жесткие требования. В связи с этим является важной разработкой методик по прогнозированию и предотвращению разрушения деталей машин, в том числе и разрушения, обусловленного двойникованием. Таким образом, решение задачи о расчете напряженно-деформированного состояния, обусловленного единичным двойником в зерне поликристалла, является важным и своевременным.

Целью данной работы стало изучение напряженно-деформированного состояния, обусловленного единичным микродвойником в зерне поликристалла и анализ зависимости его от формы зеренных границ.

Рассматривалось напряженно-деформированное состояние зерен поликристалла, в которых размещен единичный клиновидный двойник. Рассмотренные зерна имеют форму правильного  $n$ -угольника (принимается  $n = 4, 5, 6, 7$ ) и расположены на большом расстоянии от поверхности двойникующегося материала. Границы зерен поликристалла были смоделированы в виде стенок полных дислокаций, при этом учитывали напряжения, которые создает сам двойник, а также напряжения на границах зерна. Смещения и напряжения, создаваемые клиновидным двойником с учетом смещений и напряжений на границах зерна, определялись с помощью принципа суперпозиции:

$$\begin{pmatrix} u_i \\ \sigma_{ij} \end{pmatrix} = \sum_{m=1}^2 \begin{pmatrix} (u_i^{(m)})_{tw} \\ (\sigma_{ij}^{(m)})_{tw} \end{pmatrix} (x, y) + \sum_{k=1}^n \begin{pmatrix} (u_i^{(k)})_b \\ (\sigma_{ij}^{(k)})_b \end{pmatrix} (x, y),$$

где  $i$  принимает значения  $x, y$  или  $z$ ;  $(u_i^{(m)})_{tw}(x, y)$  – смещения, создаваемые соответствующими двойниковыми границами;  $(u_i^{(k)})_b(x, y)$  – смещения, создаваемые соответствующими зеренными границами;  $(\sigma_{ij}^{(m)})_{tw}(x, y)$  – напряжения, создаваемые двойниковыми границами;  $(\sigma_{ij}^{(k)})_b(x, y)$  – напряжения, создаваемые границами зерен. Данные смещения и напряжения определяли с помощью криволинейных интегралов вдоль профилей соответствующих границ.

Проведенные расчеты показали, что форма полей напряжений, обусловленных наличием единичного двойника в теле зерна, несущественно зависит от количества граней у зерна. На изображениях полей напряжений четко просматриваются как двойниковые, так и зеренные границы, являющиеся концентраторами напряжений. При этом максимальные нормальные напряжения наблюдаются на двойниковых границах; максимальные скалывающие напряжения  $\sigma_{xy}$  локализованы в узловых точках двойника; скалывающие напряжения  $\sigma_{zy}$  максимальны на зеренных границах; а скалывающие напряжения  $\sigma_{xz}$  – на зеренных (за исключением вертикальной) границах зерна.





Анализ теоретических подходов к рассмотрению механизмов образования дефектов в отливках, расхождения значений точностей внутренних поверхностей отливок позволяют выделить две взаимодействующие системы: «сплав» и «стержень», управляя параметрами которых можно достичь требуемого уровня качества внутренних поверхностей и добиться высокой годности отливок. Систему «сплав» формирует комплекс таких факторов, как литейные и эксплуатационные свойства сплавов, условия и параметры процесса заливки, условия и параметры кристаллизации и охлаждения отливок. Система «стержень» характеризуется факторами: технологии изготовления стержней, качества стержневой оснастки, качества сборки и комплектации литейных форм.

При определении возможности управления критериями качества внутренних поверхностей отливок была произведена оценка влияния технологических параметров процесса на критерии точности отливок и вероятности образования дефектов. Выявлено, что основными факторами регулирования технологических параметров, определяющих критерии качества в системе «стержень», являются процессы смешения и формообразования литейных стержней. Воздействие на данные процессы через формирующие параметры (свойства исходных формовочных материалов, состав стержневой смеси, режимы и условия смешивания компонентов, факторы внешнего воздействия, способ формообразования, условия и режимы уплотнения смеси, конструкция стержневой оснастки, реологические свойства стержневой смеси, время набора манипулятивной прочности) позволяет регулировать эксплуатационные свойства литейных стержней (прочность, газопроницаемость, выбиваемость, термостойкость и др.), тем самым обеспечивая оптимальные условия их работы при заливке и охлаждении отливки. Однако регулирование эксплуатационных свойств литейных стержней должно быть адаптировано к условиям заливки литейных форм, т. е. к системе «сплав». Кроме того, следует учитывать, что параметры стержневой оснастки и факторы внешнего воздействия могут оказывать существенное дополнительное влияние на качество внутренней поверхности отливок.

УДК 621.74

## **ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК**

**И. Б. Одарченко, И. Н. Прусенко**

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

В современном литейном производстве особое внимание уделяется обеспечению высокого уровня и стабильности качества отливок, что гарантирует конкурентоспособность литейной продукции и высокие эксплуатационные свойства конечных изделий.

В соответствии с ГОСТ 15467–79 качество отливок – это совокупность свойств, обуславливающих их пригодность к потреблению, их способность удовлетворять своему назначению. ГОСТ 4.439–86 предусматривает 5 групп показателей качества чугунных отливок, включающих 22 показателя. Основными контролируемыми показателями качества являются микроструктура, временное сопротивление (прочность), предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость, верхний предел твердости, нижний предел твердости, габаритные размеры, шероховатость поверхности, отсутствие дефектов, марка сплава, масса отливки, толщина необрабатываемых стенок и ребер, отсутствие дефектов отливок.

Принятая система ГОСТов при рассмотрении связей между критериями качества отливок и технологическими параметрами, влияющими на формирование этих критериев, представляет их фрагментарными, эпизодическими и связывает их, главным образом, с вероятностью образования дефектов в отливках. При этом можно говорить, что система ГОСТов не представляет цельной, четкой взаимосвязи показателей качества чугуновых отливок с технологическими параметрами их производства. Это, в свою очередь, не позволяет реализовать комплексный подход к управлению параметрами качества посредством регулирования параметров технологических процессов. Для решения данной проблемы следует классифицировать технологические факторы, определяющие качество чугуновых отливок, выявить наиболее значимые из них, определить их комплексное влияние на формирование критериев качества отливок.

В работе представлена классификационная система технологических факторов, влияющих на качество чугуновых отливок. При разработке данной классификационной системы был использован подход, согласно которому все технологические факторы, формирующие качество отливок, были разделены на 7 групп, определяющие область, степень и направленность влияния на формирование параметров качества: качества формы, качества стержней, качества сплава, качества сборки, качества заливки, качества охлаждения и кристаллизации, качества проектирования технологии.

Для каждой из этих групп была проведена классификация технологических факторов, что позволило определить степень воздействия отдельных параметров качества чугуновых отливок в рамках определенной группы факторов. Проанализировано комплексное влияние технологических факторов на качество литейной продукции.

Разработанная классификационная система позволит установить цельную взаимосвязь между параметрами качества отливок и технологическими параметрами смесеприготовления, формообразования, плавки, заливки и финишной обработки отливок, что даст возможность регулировать вероятность образования дефектов, контролировать размерную, геометрическую точность, шероховатость поверхности чугуновых отливок.

УДК 621.793.7

## **СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОРОШКОВЫХ СИСТЕМ**

**И. В. Агунович, И. М. Крижевский**

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

Из методов газотермического напыления газопламенное напыление является наиболее простым, дешевым и мобильным. Результатом его использования является получение коррозионностойких, жаростойких и износостойких покрытий на деталях машин.

**Целью данной работы** было исследование микроструктуры покрытий, полученных газопламенным напылением на основе порошковых систем Ni–Cr–B–Si, Ni–Cr–B–Si+W–Co, Fe–B и их механических свойств.

**Методика исследований.** Покрытия наносили при помощи высокоскоростной газопламенной установки «ТРУ-БИ» производства БНТУ. В качестве напыляемого материала применяли порошок на основе никеля Ni–Cr–B–Si (С – 1,5 мас. %;

Cr – 26 мас. %; Si – 2,3 мас. %; В – мас. 3 %; Ni – остальное) с размером частиц 30–50 мкм; Ni–Cr–B–Si+W–Co (W–Co – 25 % масс.) с размером частиц 10 мкм; Fe–B (Fe – 3 % масс), размер фракций  $\approx$  50 мкм.

**Результаты исследований.** Микроструктура покрытий, полученных при газопламенном напылении, является сложной и многофазной. Так, микроструктура после напыления порошка Ni–Cr–B–Si является двухфазной, с резко очерченными межфазными границами, довольно однородная. Размер фаз составил в среднем  $\sim$ 2–10 мкм. Структура состоит из твердого раствора на основе никеля, многокомпонентной эвтектики боридов, карбидов и силицидов.

В период между напылением слоев на поверхности покрытия происходит адсорбция газов, окисление и отложение пылевидных фракций распыляемого материала и его оксидов. Образование покрытия последовательной укладкой множества деформирующихся частиц привело к появлению микропустот. Вследствие большой шероховатости покрытия и чрезвычайно быстрого растекания и кристаллизации частиц в зоне контактов с поверхностью ранее нанесенных частиц остаются дефекты и полости, которые образуются также вследствие выделения газов, растворенных в расплавленных частицах. Пористость покрытия после напыления порошка Ni–Cr–B–Si высокая,  $\sim$ 31 %, размеры пор  $\sim$ 80 мкм. С глубиной напыленного слоя пористость уменьшается, минимальная пористость наблюдается в месте непосредственного контакта с поверхностью подложки. При добавлении в порошок Ni–Cr–B–Si карбида вольфрама микроструктура покрытия становится более неоднородной (предположительно вследствие значительной разницы в размере частиц порошка в механической смеси), но количество пор заметно снижается  $\approx$ 22 %, что вызвано большой энергией активации частиц вольфрама. Структурная неоднородность также вызвана различными условиями охлаждения и теплопередачи слоев в процессе напыления. На плоскости шлифа наблюдаются карбиды, неравномерно распределенные в плоскости шлифа. Микроструктура после напыления Fe–B является двухфазной, неоднородной. Структура предполагает наличие фаз Fe<sub>2</sub>B и FeB, и метастабильных боридов Fe<sub>3</sub>B (карбида Fe<sub>3</sub>C) и Fe<sub>23</sub>B<sub>6</sub>. Пористость составляет  $\approx$ 27 %. С увеличением содержания боридов и карбидов и с уменьшением структурных составляющих и микропустот микротвердость наплавленных покрытий увеличивается. Наибольшей микротвердостью обладает покрытие системы Fe–B.

УДК 666.265

### ПОЛУЧЕНИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЛЕГКОПЛАВКОГО СТЕКЛА

**О. В. Урецкая, Н. Е. Дробышевская, Е. Н. Подденежный,  
А. А. Бойко, Т. Н. Савкова, А. И. Кравченко**

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

Поиск и исследование импортозамещающих люминесцентных материалов, и в частности, редкоземельных гранатов, активированных церием YAG:Ce<sup>3+</sup> для светодиодов белого света, а также новых способов их получения является актуальным.

В НИЛ ТКН «ГГТУ им. П. О. Сухого» было проведено исследование составов и структуры люминофорных покрытий YAG:Ce<sup>3+</sup> на стеклянных подложках как гладких, так и рифленых, усовершенствование методики нанесения шликера на поверхность пластин и определение оптимальных режимов термообработки [1].

Люминофорные покрытия были получены на основе наноструктурированного порошка иттрий-алюминиевого граната, легированного церием, синтезированного методом горения азотнокислых солей в сахарозе, в качестве основы для люминофорной композиции использовано легкоплавкое стекло состава  $\text{BaO}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  с температурой размягчения не более  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , в некоторых экспериментах в состав композиции вводился порошок кварцевого стекла в качестве диффузно-рассеивающего компонента, улучшающего светотехнические характеристики. Люминофорная композиция готовилась смешиванием компонентов с изопропанолом, далее шликер наносился поливом на стеклянную подложку и высушивался. Стеклянная подложка с покрытием помещалась в муфельную печь на керамическую подставку и постепенно нагревалась до температуры  $600\text{ }^\circ\text{C}$  и выдерживалась в течение 30–60 мин, затем медленно охлаждалась с печью до комнатной температуры. В качестве подложки были использованы как гладкие, так и рифленые стекла.

Для установления степени влияния различных технологических факторов получения люминофоров, толщины слоя и размеров частиц диффузно-рассеивающего компонента на квантовый выход и спектральный состав излучения исследовались его спектрально-люминесцентные характеристики.

Возбуждение люминесценции  $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$  производилось в области полосы поглощения иона  $\text{Ce}^{3+}$  расположенной в синей области, светодиодом  $\text{VL-NPEUBC-10W}$  с длиной волны излучения в диапазоне 450–480 нм, что соответствовало переходам из  $4f^5F_{5/2}$  на расщепленные уровни  $5d$ -состояния. Регистрация спектров излучения люминофоров производилась с использованием монохроматора МДР-4 с фотоумножителем ФЭУ-64 и управлением от персонального компьютера. Спектры люминесценции пересчитывались по спектру эталонного холодно-белого светодиода  $\text{LED-003W-15C}$ .

Измеренные спектры излучения люминофора имели широкую полосу в области 500–700 нм, что соответствовало переходам иона  $\text{Ce}^{3+}$  из состояния  $5d$  на уровни  $4f$ -оболочки.

Обсуждаются методики получения люминофора, обеспечивающие максимальный вантовый выход люминесценции, а также влияние толщины слоя люминофора и размеров частиц диффузно-рассеивающего компонента на спектрально-люминесцентные характеристики.

#### Л и т е р а т у р а

1. Влияние состава и условий формирования стеклокристаллических люминофорных покрытий на их характеристики / О. В. Урецкая [и др.] // Поликомтриб–2013 : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 24–27 июня 2013 г. – Гомель : ИММС НАН Респ. Беларусь, 2013. – С. 196.

УДК621.791

### УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ МАГНИТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

М. П. Кульгейко, Э. И. Дмитриченко

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

В связи с интенсивным развитием техники широкое применение находят высокопрочные, износостойкие, жаропрочные и другие труднообрабатываемые традиционными способами материалы. Значительные трудности представляет отделочная

обработка таких материалов, в том числе шлифование. Определенные сложности управления качеством шлифования вызваны теплофизическими явлениями в зоне обработки, которые в значительной степени определяются силовыми характеристиками процесса.

Динамика процесса магнитно-электрического шлифования в отличие от традиционного процесса определяется более сложным взаимодействием целого ряда физико-механических и электрохимических явлений в зоне резания. Процесс магнитно-электрического шлифования как комбинированный метод обработки сопровождается микрорезанием зернами абразива с электроконтактным и электроэрозионным воздействием на обрабатываемую поверхность в условиях наложения внешнего магнитного поля. В этих условиях достаточно сложно теоретически определить роль и количественные характеристики отдельных силовых факторов процесса обработки. Поэтому важное значение представляет экспериментальное исследование сил резания, напряжений в контактной зоне, жесткости технологической системы и ее элементов и других силовых факторов процесса.

С целью исследования динамических характеристик магнитно-электрического шлифования создана экспериментальная установка на базе горизонтально-фрезерного станка модели 6Т80. В состав установки входит несколько взаимосвязанных систем. Электромагнитная система состоит из катушек индуктивности и магнитопровода. Управление параметрами магнитного поля осуществляется посредством резисторов. Измерение магнитной индукции производится теслоамперметром Ф4554/1 с датчиком Холла. Кроме того, для сравнения выполняется расчет магнитного поля с учетом показаний электроизмерительных приборов. Система технологического тока включает генератор импульсов УРМЗ, подключенный к шлифовальному кругу через подпружиненную медно-графитовую щетку и медное кольцо на шпиндельной оправке. Положительный полюс генератора соединен с обрабатываемым образцом. Регулирование силы технологического тока осуществляется также с помощью резисторов. Регистрация разрядов в зоне контакта производится подключенным через шунт осциллографом типа НО-71-1. Основным элементом экспериментальной установки является зажимное приспособление, установленное на специальные опоры. Опоры представляют собой шестигранные прудки с центральными осевыми отверстиями, в которых наклеиваются тензометрические датчики. В процессе шлифования опоры воспринимают силы резания и упруго деформируются. Степень деформации фиксируется потенциометром, подключенным к тензометрическим датчикам через усилитель и миллиамперметр. Осуществив предварительную тарировку при соответствующей нагрузке, по показаниям потенциометра определяются силовые характеристики процесса магнитно-электрического шлифования.

Установка позволяет проводить исследования динамики магнитно-электрического шлифования в целом, а также влияния отдельных его факторов на силовые характеристики процесса.

УДК 336.717.111.7-027.31

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НИТРАТА КАЛЬЦИЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА****Т. В. Исмагилова, В. С. Михайлов, Л. Ф. Карамова***Уфимский государственный университет экономики и сервиса,  
Республика Башкортостан*

NITCAL – комплексная добавка в бетоны с высокими эксплуатационными свойствами.

NITCAL (нитрат кальция технического качества (CN)) придает бетонной смеси ряд положительных свойств. Используя NITCAL, вы имеете возможность достигать прочность и качество, необходимое на строительных площадках, вне зависимости от погодных условий и времени года, а также ускорить рабочий процесс и сократить расходы.

Количество воды затворения при введении добавки NITCAL не меняется, и состав бетона устанавливается в лаборатории завода ЖБИ, а количество цемента уменьшается на количество введенной добавки. NITCAL повышает плотность бетона и значительно улучшает стойкость бетона к агрессивным средам, препятствуя разрушению цементного камня в результате газовой, водосолевой и биологической коррозии. Применение добавки делает бетон непроницаемым для машинных масел и солянки. Эффекты от применения заключаются в том, что минимальный расход введения добавки, ЖБИ–0,2–1,5 % от массы цемента, повышает класс бетона по водонепроницаемости на 2–3 марки, повышает прочность бетона на 20–30 %.

Полностью вступает в химические реакции с цементом, не вызывая последующего образования соляных новообразований, дает возможность снятия опалубки через 5–10 ч, без термообработки, снижение затрат энергии, температуры прогрева 20–30 °С, трудозатрат.

Комплекс модификаторов увеличивает ударную вязкость и прочность на излом для дорожного бетона, не влияет на морозостойкость и устойчивость к солям дорожных бетонов, уплотняет бетон, повышает качество поверхности монолита.

Уменьшает износ бетона дорожных плит, элементы мощения, действует как анодный замедлитель процессов коррозии помещенной в бетон стали, уменьшает расход цемента, не влияет на реологию, исключает восстановительные работы по ремонту поверхности.

Используется в создании комплексных добавок для бетонов.

NITCAL совместим со всеми видами добавок для бетонов ЛСТ, меламинами и нафталинформальдегидными суперпластификаторами, биополимерами.

Массовая доля нитрата кальция составляет не менее 78 %, а массовая доля воды составляет не более 15,7 %, упаковкой являются мешки 25 кг, МКР 1000/1200 кг, рН составляет 5,7–7,3, объемная плотность без вибрации 1,05+/-0,05 кг/дм<sup>3</sup>.

Гранулометрия по ISO – международной организации стандартизации, +2,0 мм: max 20 %, –2,0+1,0 мм: min 78 %, –1,0 мм: max 2 %, № название компонента/№ европейское, Сообщество/№ CAS/Концентрация, Нитрат аммония кальция/239-289-5/15245-12-2/84 %, Вода/231-791-2/7732-18-5/16 %, второе название – десятиводный нитрат аммония (10 молекул кальция).

NITCAL – это нитрат кальция особого качества. Это достигается использованием специальной технологии производства NITCAL. И является многофункциональной добавкой предназначенной для разных отраслей промышленности, в том числе нефтегазодобывающей. Не является отходом производства.

NITCAL производится посредством растворения фосфорнокислой извести в азотной кислоте с последующей нейтрализацией, фильтрацией испарением и гранулированием. NITCAL представляет собой приллированный или гранулированный продукт. Имеет особый химический состав, обеспечивающий превосходные физические свойства. Экологически безопасный продукт. Взрыво- и пожаробезопасен. Классифицируется в системе норм ООН по транспортировке как безопасное вещество.

NITCAL легко растворяется в холодной воде, что облегчает и снижает расходы на транспортировку. Срок годности – минимум 2 года. Нитрат кальция разрешен к применению в качестве модифицирующей добавки в бетоны и строительные растворы при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций, монолитных частей сборно-монолитных конструкций и преобразовании в монолиты стыков сборных конструкций, для ячеистых бетонов.

Противоморозная добавка в форме NITCAL в качестве ускорителя сроков схватывания цемента предназначена для производства бетонных смесей, рекомендована при низких  $t$  воздуха. Введение добавки NITCAL в бетонную смесь при низкой  $t$  окружающей среды вызывает понижение  $t$  замерзания воды, что позволяет замешивать бетон при  $t$  воздуха – 10 °С без замедления процесса гидратации цемента. Эффективное влияние NITCAL на бетонную смесь достигается при  $t$  – 20 °С окружающей среды, если добавить не менее 1 % добавки от массы цемента. Бетонная смесь с NITCAL использовалась на строительстве шахт в Северном море (высота 369 м), под нефтегазодобывающие платформы. Целесообразность использования NITCAL заключалась в том, что он противодействовал эффекту замедления твердения смеси при заливке высоких и массивных конструкций.

Расчетная температура твердения бетона составляет +5 °С, дозировка нитрата кальция от 1% массы цемента, до 0,5 % – 10 °С, не менее 1 % до – 15 °С, не менее 1,5 % до – 20 °С, не менее 2,5 % до – 25° С, не менее 2,5 – 3 %.

Ускоритель набора прочности необходим потому, что растущий интерес к коррозии арматурных стержней, внедренных в бетон из портландцемента, которая вызвана хлоридами, привел к появлению добавок, не содержащих хлориды. Особое внимание было уделено составам ускоряющих добавок, не содержащих хлориды, которые пришли на смену широко используемому ускорителю – хлориду кальция.

Солью, которая удовлетворяла этим требованиям, был нитрат кальция. После пяти лет непрерывных исследований, было обнаружено, что нитрат кальция является также очень эффективным замедлителем коррозионных процессов в металлах, помещенных в бетон.

NITCAL в дозировке 0,5–1,5 % от массы цемента действует как ускоритель сроков схватывания при 20°С и, таким образом, повышает прочность на ранней стадии (например, через 6–8 ч). Вследствие превращения небольшого количества аммония в нитрате кальция технического качества в процессе реакции с эпоксидом происходит превращение нитрата кальция из чистого ускорителя сроков схватывания еще и в ускоритель твердения. При небольших дозах (1–2 %) вводится для долгосрочного повышения прочностных характеристик бетона.

В дозировке 0,5–1 % от массы цемента обеспечивает наилучшую водонепроницаемость бетона, интенсифицирует набор прочности и повышает конечную прочность на 20–30 %.

NITCAL позволяет уплотнять бетон. Это способствует его ускоренной самокальматации (самозакупориванию порогового пространства карбонизирующейся на воздухе гидроокисью кальция) и предотвращает высокообразование на стадии эксплуатации.

NITCAL – наиболее эффективен как ускоритель набора прочности для Портландцемента с высоким содержанием белита и низким содержанием щелочи.



Уменьшенный период индукции и время набора прочности могут использоваться несколькими способами, например, в зимний период для избегания переохлаждения свежего бетона до начала твердения, производства готовых элементов, более быстрого повторного использования форм, уменьшен риск трещин из-за усадки бетонной смеси.

Уменьшенное время до финишной обработки, заглаживание бетонных полов, увеличенная ранняя прочность бетона, активация бетонной смеси после долгой транспортировки или транспортировки в жарком климате – повышает качество монолита, снижение риска трещинообразования.

NITCAL может использоваться как добавка, снижающая риск трещинообразования из-за быстрой потери влаги в свежем бетоне. Наиболее вероятен эффект ускоренного набора прочности. При проведенных испытаниях бетонных смесей с  $w/c = 0,45$ , с 2 % NITCAL от массы цемента и без добавки, бетонные кольца были подвергнуты высыханию в установке, со скоростью ветра 4,5 м/с, при температуре 20 °С относительной влажностью 43 %. Бетон без добавки имел усадочные трещины, в то время как не наблюдалось ни одной трещины в бетоне с 2 % NITCAL.

Как ингибитор коррозии NITCAL препятствует коррозии арматуры, вызванной повышенным содержанием хлоридов, дозировка 3–4 %.

В ходе проведения длительных испытаний было доказано, что нитрат кальция замедляет процесс коррозии арматурной стали, вызванный хлоридами как добавленными непосредственно в воду для затворения, так и добавленными позднее, а также превосходит нитрит кальция в испытаниях по коррозии. Механизм действия нитрата и нитрита как ингибиторов коррозии схожи в щелочных средах, таких как бетон. Кинетика действия нитрата медленнее, чем нитрита, но это важно только в краткосрочных испытаниях, поскольку на практике процесс коррозии – это довольно длительный процесс. Как следует из теории, нитрат кальция обеспечивает больший резервный запас, чем нитрит кальция.

Применяют NITCAL в нефтегазодобывающей промышленности, для приготовления технологических жидкостей для капитального ремонта скважин в условиях АВПД, применения в буровых растворах, строительства и обслуживания нефтегазодобывающих платформ, бетонов с высокими эксплуатационными свойствами.

NITCAL совместим со всеми видами добавок д/бетонов ЛСТ, меламинами и нафталинформальдегидными суперпластификаторами, биополимерами.

Общие технические требования соответствуют таким критериям, как ГОСТ 24211–91 «Добавки для бетонов», СП 82-101–98 приготовление и применение растворов строительных, ГОСТ 1922–84 арболит, бетон на основе цементного вяжущего и изделия из него, ГОСТ 25820–83, бетоны легкие.

Используя NITCAL, возможно достигать прочности и повышать качество, необходимое на строительных площадках, вне зависимости от погодных условий и времени года, а также ускорить рабочий процесс и сократить расходы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Артемов, С. С. Математическое моделирование в архитектуре / С. С. Артемов. – РАН, 2013. – 173 с.
2. Басков, Н. П. Классификация бетонных растворов / Н. П. Басков. – 2013. – № 24. – С. 16–21.
3. Кир, М. Применение армированного бетона / М. Кир // Строительный рынок. – 2013. – 188 с.
4. Гер, А. В. Экономические аспекты армирования бетона / А. В. Гер. – 2013. – Т. 8, № 3-3. – С. 84–89.
5. Дерновой, А. И. Структура рынка строительных материалов / А. И. Дерновой. – 2013. – № 11. – С. 53–62.
6. Жаров, Р. Т. Структура монолитно-кирпичной конструкции / Р. Т. Жаров. – 2013. – № 2. – С. 75–77.

## СЕКЦИЯ В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

УДК 621.452.3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Г. М. Попов, Е. С. Горячкин, Ю. Д. Смирнова

*Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский  
университет), Российская Федерация*

Эффективность двигателя в значительной степени определяется эффективностью его узлов. Показателем эффективности является коэффициент полезного действия (КПД).

Для достижения высоких значений КПД выполненного «в металле» узла, необходимо определение его характеристик еще на стадии проектирования. В последнее время для этого широко применяются методы вычислительной газовой динамики (CFD). CFD-методы позволяют определить необходимые характеристики на основе численного решения уравнений газовой динамики.

Данная работа посвящена расчетному исследованию характеристик неохлаждаемой свободной турбины (СТ) стационарной газотурбинной установки.

Было создано 4 численных модели СТ. Три из них не учитывали наличие притраковых полостей. Данные модели отличались друг от друга только количеством элементов расчетной сетки. Четвертая модель СТ была построена на основе модели со средним количеством элементов и учитывала наличие притраковых полостей.

В качестве граничных условий на входе в турбин СТ были заданы эпюры распределения по высоте проточной части полного давления, полной температуры, угла потока и турбулентной вязкости, полученные из сделанного предварительно CFD-расчета турбины низкого давления.

По результатам расчета были построены зависимости КПД турбины ( $\eta^*$  и степени понижения давления ( $\pi_m^*$ ) в зависимости от параметра  $\frac{n}{c_{эф}^*}$ , где  $n$  – частота вращения ротора,  $c_{эф}^*$  – эффективная скорость в сечении на выходе из турбины.

Из анализа зависимостей следует, что количество элементов на лопаточный венец практически не сказывается на зависимости  $\pi_m^* = f(\frac{n}{c_{эф}^*})$ . При расчете зависимости  $\eta^* = f(\frac{n}{c_{эф}^*})$  сеточная сходимость была достигнута на сетке со средним числом элементов. Эта сетка и была принята для дальнейших исследований.

Также из полученных результатов можно сделать вывод, что наличие притраковых полостей оказывает незначительное влияние на характер протекания зависимости  $\pi_m^* = f(\frac{n}{c_{эф}^*})$  как качественно, так и количественно. Разница с

моделью без банджа составила от 0 до 0,5 %. При расчете зависимости  $\eta^* = f\left(\frac{n}{c_{\text{эф}}^*}\right)$  КПД уменьшился на 1–2 %.

В результате исследования можно сделать следующие выводы: предварительный расчет рационально проводить на сетке с меньшим количеством элементов, без учета притраковых полостей, поверочный расчет необходимо проводить на сетке с большим количеством элементов и учетом притраковых полостей.

УДК 621.452.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ КОМПРЕССОРА  
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ**

**Г. М. Попов, Е. С. Горячкин, Ю. Д. Смирнова**

*Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский  
университет), Российская Федерация*

Одна из важнейших задач при проектировании стационарной газотурбинной установки – повышение эффективности. В частности, за счет повышения эффективности ее отдельных узлов, таких как компрессор и турбина. Использование на этапе проектирования методов вычислительной газовой динамики (CFD) позволяет в значительно более короткие сроки и с меньшими затратами достигнуть увеличения коэффициента полезного действия (КПД) компрессора, что, в свою очередь, ведет к увеличению эффективности газотурбинной установки в целом.

Данная работа посвящена расчетному определению характеристик компрессора низкого давления (КНД) стационарной газотурбинной установки.

Расчет характеристик выполнен в программном комплексе *NUMECA Fine/turbo* на основе численного решения уравнения Навье–Стокса. Для этого была создана сетка конечных элементов с числом элементов порядка 600000 на венец рабочего колеса и 450000 на венец направляющего аппарата. Общее количество элементов примерно 4800000. В ходе расчетов использовалась модель турбулентности *k-epsilon (Low Re Yang-Shih)*.

Для решения поставленной задачи были приняты следующие граничные условия:

– на входе в расчетную область задавалась величина полной температуры ( $T^* = 288,15$  К) и полного давления ( $P^* = 101325$  Па). Направление потока на входе было задано осевым;

– на выходе из КНД в сечении за опорой задавалась величина статического давления на втулке.

Для исследований были созданы 4 численные модели КНД. Три из них не учитывали наличие притраковых полостей. Данные модели отличались друг от друга только количеством элементов расчетной сетки. Четвертая модель была построена на основе модели со средним количеством элементов и учитывала наличие притраковых полостей. Последняя численная модель создана для обоснования возможности использования модели без притраковых полостей для уменьшения времени расчета за счет существенного уменьшения количества элементов.

В результате расчета определены напорная и КПД характеристики на частотах вращения 4600 и 5000 об/мин.

Сеточная сходимость достигнута на сетке со средним количеством элементов. Что позволяет использовать ее для дальнейших расчетов, экономя при этом компьютерные ресурсы.

Из сравнения полученных зависимостей следует, что отклонение рассчитанных напорных характеристик от экспериментальных находится в пределах 5 %. Отклонение рассчитанных КПД характеристик от экспериментальных лежит в пределах 2 %.

Таким образом, построенная расчетная модель позволяет качественно и количественно моделировать рабочие процессы КНД стационарной газотурбинной установки и может быть использована для дальнейших исследований.

УДК 621.88.084

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ТУРБИНЫ**

**Д. В. Радин, А. А. Волков**

*Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет), Российская Федерация*

В настоящее время в процессе проектирования и доводки газотурбинных двигателей (ГТД) широко используются методы вычислительной газовой динамики (CFD).

Данная работа посвящена созданию численной модели рабочего процесса одноступенчатой турбины. В качестве объекта исследования была выбрана экспериментальная одноступенчатая турбина NASA. Для данной турбины были известны ее геометрические данные, а также результаты ее экспериментальных исследований [1]. Расчетная модель выполнялась в программном комплексе NUMECAFineTurbo.

Процесс моделирования состоял из четырех этапов:

**1. Подготовка геометрической модели.** На основе технической документации [1] была определена расчетная область, меридиональное сечение которой было создано в программе КОМПАС-3D и затем импортировано в программный комплекс NUMECAAutoGrid5. Геометрия лопаток также создавалась в программе КОМПАС-3D и после этого с помощью созданной на кафедре ТДИА программы Profiler проверялась и импортировалась в программный комплекс NUMECAAutoGrid5 в виде специального текстового файла, содержащего координаты сечений лопаток.

**2. Создание сеточной модели** производилось сеткопостроителем NUMECAAutoGrid5. Заданные параметры сетки приведены в таблице.

### **Параметры расчетной сетки**

<b>Параметр сетки</b>	<b>СА</b>	<b>PK</b>
Количество элементов по высоте проточной части	73	89
Количество элементов по ширине межлопаточного канала	42	42
Количество элементов в O-подслое	21	21
Количество элементов на спинке	173	173
Количество элементов на корытце	97	69
Количество элементов вдоль входных и выходных кромок	17	17
Размер первого элемента внутри пограничного слоя, мм	0,003	0,003

**3. Подготовка расчетной модели.** В качестве граничных условий при расчете использовались полное давление и температура на входе и статическое давление на выходе. Данные параметры соответствовали аналогичным параметрам при проведении эксперимента. Скорость вращения также соответствовала эксперименту.

**4. Расчет.** В результате расчета были получены поля распределения параметров (давления, скорости, температуры и т. д.) в межлопаточном канале турбины. Совпадение полученных данных с экспериментальными, приведенными в техническом отчете [1], подтвердило пригодность разработанной методики расчета одноступенчатой турбины.

Л и т е р а т у р а

1. Edward M. Szanca, Frank P. Bebnig, Harold J. Scbum. Research turbine for high-temperature core engine application, NASA TN D-7639, 1974.

УДК 621.787: 539.319

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА  
СОПЛОВОГО АППАРАТА ГТД**

**А. А. Волков, Д. В. Радин**

*Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский  
университет), Российская Федерация*

Современное развитие методов вычислительной газовой динамики (CFD) способствует их широкому применению при проектировании и доводке газотурбинных двигателей (ГТД). Наиболее широкое распространение CFD-моделирование получило при исследовании турбомашин ГТД: компрессоров и турбин.

Работа выполнена в программном комплексе Numesa Fine Turbo на основе технической документации NASA [1], в которой на специальной установке происходил продув лопаток турбины. Измерение параметров потока проводилось в сечении, удаленном на расстоянии 102 мм от выходной кромки. Геометрия лопатки создавалась поэтапно: на основе данных о геометрии описанных в документации NASA, создавался профиль лопатки в программном комплексе КОМПАС. Затем с помощью программы Profiler, разработанной на кафедре ТДЛА СГАУ, был построен окончательный профиль лопатки, так как эта программа позволяет получить текстовый файл в формате geomturbo для программного комплекса AutoGrid5. Также было создано меридиональное сечение расчетной области. Полученный профиль лопатки и меридиональное сечение были загружены в программный комплекс NUMECA AutoGrid5 со следующими параметрами сетки:

- 1) количество элементов по высоте проточной части: 57;
- 2) количество элементов по ширине межлопаточного канала: 46;
- 3) количество элементов в О-подслое вокруг лопатки: 17;
- 4) количество элементов вдоль лопатки: спинка – 217, корытце – 125;
- 5) количество элементов вдоль входных и выходных кромок: 17.

Для корректного расчета потока внутри пограничного слоя размер первого элемента равен 0,003. Безразмерный параметр  $y^+ = 1,91$ . Расчет характеристик СА проводился при изменяющемся значении приведенной скорости от дозвуковой  $\lambda_s = 0,534$  до транзвуковой  $\lambda_s = 1,13$ . Для моделирования течения была выбрана модель турбулентности Spalart-Allmaras. В качестве рабочего тела использовалась

модель идеального газа, с газовой постоянной  $R_{\Gamma} = 287,4826 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  и показателем адиабаты  $k_{\Gamma} = 1,4$ . Полное давление на входе в сопловой аппарат в процессе испытаний постоянно и равно 101325 Па, а полная температура во входном сечении равнялась  $T_0^* = 288,16 \text{ К}$ . Использовалась инициализация с предыдущего расчета.

В результате расчета были получены интегральные параметры, на основе которых были построены графики зависимостей:

1. Коэффициент скорости СА.
2. Пропускная способность СА.
3. Коэффициент восстановления полного давления СА.
4. Угол на выходе из СА в абсолютном движении.

Л и т е р а т у р а

1. Louis j. Gordman and Kerry L.McLallin. Cold-air annular-cascade investigation of aerodynamic performance of core-engine cooled turbine vanes. NASA TM X-3224, 1975.

УДК 531.8

## **ОЦЕНКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА**

**А. В. Локтионов**

*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.

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. Исследованиями установлено, что при расчете уравнения движения малых колебаний эллиптического маятника с заданной начальной угловой скоростью его движения с учетом момента инерции шарика относительно оси подвеса значительно усложняется расчетная формула по определению закона движения малых колебаний маятника. Установлено, что при исследовании следует рассматривать сложное движение эллиптического маятника. Получены расчетные формулы для определения закона движения малых колебаний эллиптического маятника с учетом момента инерции шарика относительно точки его подвеса.

Установлено, что, если шарик принять за материальную точку, участвующую в сложном движении, то значительно упрощается расчетная формула для определения закона движения малых колебаний эллиптического маятника. Аналитические зависимости получены и для расширенного диапазона колебаний от  $-40^\circ$  до  $+40^\circ$  [1].

Установлено также, что закон движения ползуна математически в обоих случаях имеет одинаковый вид. Для определения закона движения малых колебаний эллиптического маятника с заданной начальной угловой скоростью его движения сле-

дует использовать в расчетах сложное движение шарика. Представлена схема перемещений центров масс ползуна, шарика и эллиптического маятника.

При исследовании малых колебаний эллиптического маятника с различными начальными условиями следует рекомендовать рассматривать сложное движение шарика и не использовать при расчетах момент инерции шарика относительно точки его подвеса.

В качестве прогнозных предположений следует получить дифференциальное уравнение гармонических колебаний эллиптического маятника, состоящего из ползуна, шарика и стержня, с использованием аналитического метода расчета относительного движения шарика и применении принципа Даламбера для рассматриваемой механической системы.

#### Литература

1. Локтионов, А. В. Решение уравнения малых колебаний эллиптического маятника / А. В. Локтионов, С. А. Сеньков // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки : междунар. сб. науч. тр. Вып. 5 / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т транспорта ; под ред. А. О. Шимановского. – Гомель : БелГУТ, 2011. – С. 199–203.

УДК 539.4:621.6

### **МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЛОИСТЫХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ**

**В. В. Можаровский, Д. С. Кузьменков, Е. М. Березовская**

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

**Н. А. Марьяна**

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

**Постановка задачи.** Настоящая работа посвящена алгоритму решения граничных задач для неоднородного покрытия с учетом функционально-градиентных и термочувствительных свойств материала. Предполагается, что жесткий цилиндрический индентор с температурой  $t$  внедряется в бесконечное упругое слоистое тело, необходимо найти распределение давления в области контакта и определить напряженно-деформированное состояние покрытия и основания при различных граничных условиях.

**Методика расчета напряженного состояния.** Для решения данной контактной задачи строится функции Грина, а затем, учитывая граничные условия, составляется интегральное уравнение, из решения которого и определяется неизвестное давление  $p(x)$  в зоне контакта. Функция Грина строится по формулам для вертикального перемещения  $v$  на границе неоднородной полосы  $y = 0$  при действии нормальной и касательной единичных сил, определяя перемещения относительно произвольно заданной точки. Решение для неоднородного покрытия строится по разработанной методике с учетом температурных эффектов. Для этого использовались разработанные теоретические подходы в работах, представленные в [1]–[3].

**Основные полученные результаты.** Используя разработанную методику построения функции Грина для слоя, получены асимптотические зависимости, дающие компоненты перемещений слоя при действии давления в зоне контакта. Представлены графики распределения контактных напряжений для слоистых тел. Был разработан алгоритм и создана программа, реализующая определение напряжений и перемещений, возникающих в теле из функционально-градиентных материалов. Программа автоматически строит графики напряжений и перемещений для различных значений параметров неоднородности.

**Л и т е р а т у р а**

1. Sakti, Pada Barik Effect of anisotropy on thermoelastic contact problem / Sakti Pada Barik, M. Kanoria, P. K. Chaudhuri // Applied Mathematics and Mechanics. – 2008. – V. 29. – № 4. – P. 501–510.
2. Можаровский, В. В. Анализ механико-математических моделей расчета функционально-градиентных материалов, работающих в условиях контактного взаимодействия / В. В. Можаровский, Е. М. Березовская // Материалы, Технологии, Инструменты. – 2013. – № 4. – С. 5–13.
3. Напряженно-деформированное состояние композиционных покрытий в трибологических системах / В. В. Можаровский [и др.] // Трение и износ. – 2001. – Т. 22, № 4. – С. 379–385.

УДК 536.2.01

**НЕРАВНОВЕСНЫЕ ДВУХМЕРНЫЕ КОГЕРЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ  
В МАТЕРИАЛЕ С «ТЕПЛОВОЙ ПАМЯТЬЮ»**

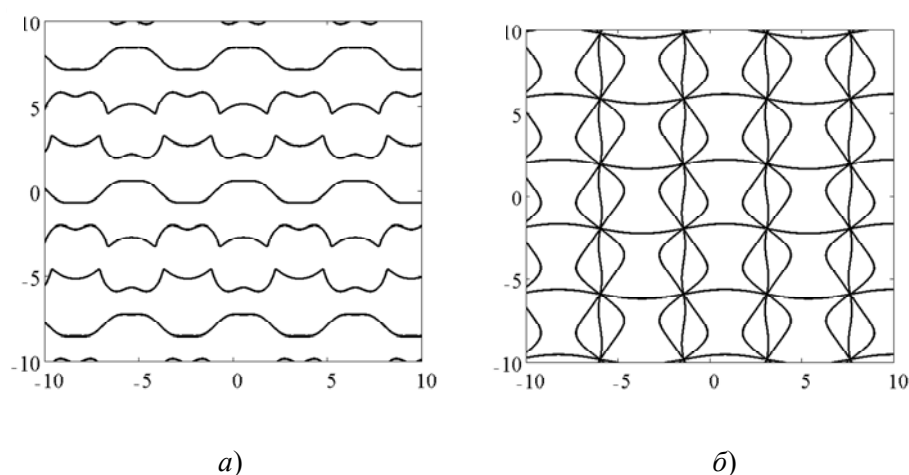
**Д. Г. Кроль, Ф. А. Лупеев**

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

В современной математической физике важное место занимают волновые уравнения, содержащие нелинейные функции источников. Такие источники позволяют моделировать сложные явления в различных областях естествознания. В данной работе для определенности будем говорить о процессах волнового теплопереноса в системе «среда – источник энергии». Источник энергии считаем нелинейным по температуре и неоднородным по координате:  $k_v = k_v(T, y)$ . Рассматриваем двухмерное плоское температурное поле  $T = T(x, y, t)$ . Цель исследования: изучить когерентные тепловые структуры, обладающие нелинейными свойствами. Основные обозначения общепринятые [1]. Функция источника энергии равна  $k_v(T, y) = \sin[T - T_0 + f_1 \sin(k_0 + k_1 y)] - k_1^2 f_1 \sin(k_0 + k_1 y)$ . В состав изучаемой теплофизической системы входят следующие элементы: 1) материал (среда), в котором тепловые возмущения распространяются с конечной скоростью  $w$ ; 2) источник энергии  $k_v^{(1)} = \sin[T - T_0 + f(y)]$ , который нелинейно зависит от температуры и обладает периодической неоднородностью по координате, потому что отклонение аргумента синуса есть периодическая функция координаты  $y$ ; 3) «внешний» периодически неоднородный источник  $k_v^{(2)} = -k_1^2 f(y)$ , амплитуда колебаний которого  $A_1 = f_1 k_1^2$  пропорциональна квадрату частоты. Линии на плоскости  $(x, y)$ , вдоль которых уравновешивается тепловыделение и теплоотвод, т. е.  $k_v = 0$ , называем нейтральными. Семейство этих линий образует когерентную структуру, форма которой не меняется с течением времени. В работе представлены результаты численного моделирования



когерентных структур, физические свойства которых связаны с «внешней» периодической неоднородностью и с конкуренцией «тепловыделение – теплоотдача». В качестве примера на рис. 1 показаны линии  $k_0 = 0$  для случая, когда  $k_1^2 f_1 \neq 1$ . Все эти структуры перемещаются с постоянной скоростью вдоль оси  $x$ . Рисунок выполнен на плоскости  $(x, y)$ .



*Рис. 1. Когерентные структуры  $k_0 = 0$ , на которых уравниваются тепловыделение и теплоотвод*

*Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика 2.1.17». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.*

#### Литература

1. Шабловский, О. Н. Неравновесные тепловые структуры в средах с источниками энергии / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль. – Гомель : ГГТУ, 2013. – 208 с.

УДК 658.512.011.56

### **УЧЕТ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**А. В. Петухов**

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

Выявление взаимосвязи описаний поверхностей машиностроительных конструкций с наименованиями обрабатываемых элементов в сочетании с их характеристиками, как отмечалось в работе [1], является ключевой задачей при создании интегрированных систем конструкторско-технологического проектирования. Решить такую задачу в общем виде достаточно сложно и вряд ли целесообразно ввиду того, что при адаптации интегрированных систем происходит сужение множества допустимых решений, обусловленное конкретными технологическими условиями их практической реализации. Использование подхода, описанного в работе [2], позволяет сократить номенклатуру и параметры графических элементов до определенного

уровня. Однако этот подход порождает новую проблему, заключающуюся в том, что использование двух и более элементов, каждый из которых сам по себе технологичен, далеко не всегда приводит к созданию технологичной детали. Из этого можно сделать вывод о том, что технологичность машиностроительной конструкции зависит не только от состава входящих в нее элементов, но и от их взаимного расположения. Это обстоятельство должно учитываться при выявлении влияния конструкции детали на технологию ее изготовления. Решить задачу можно двояко. Со стороны конструктора – введением в базу графических элементов дополнительных параметров, регламентирующих возможность их сочетания с другими элементами базы, для конкретных технологических условий изготовления. Со стороны технолога – формированием базы технологических переходов, учитывающим обработку различных сочетаний графических элементов.

Результаты поведенного исследования легли в основу настройки базы графических элементов системы T-FLEX CAD 3D и базы технологических переходов системы T-FLEX Технология, используемых в учебном процессе для повышения уровня интеграции автоматизированных систем конструкторского и технологического проектирования.

#### Литература

1. Петухов, А. В. Методика создания интегрированных систем конструкторско-технологического проектирования / А. В. Петухов // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому). – Гомель : ГГТУ, 2012. – С. 87–88.
2. Петухов, А. В. Повышение технологичности оригинальных деталей за счет использования базы графических элементов, адаптированных под условия конкретного производства / А. В. Петухов // Информационные технологии в промышленности : тез. докл. Седьмой междунар. науч.-техн. конф. «Информационные технологии в промышленности» (30–31 окт. 2012 г., Минск). – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2012. – С. 173–174.

УДК 536.2.01

### **ТЕПЛОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В СРЕДЕ С НЕЛИНЕЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ**

**И. А. Концевой, А. В. Желдак**

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

Рассматриваются закономерности формирования температурных полей в однокомпонентной теплофизической системе, испытывающей воздействие нелинейного объемного источника энергии, который моделирует разнообразные физические процессы, происходящие при энергетическом воздействии на материал. Данная работа продолжает исследование [1] и имеет целью проанализировать тепловое состояние системы, в которой действует нелинейный и неоднородный источник энергии. Изучается волновое уравнение теплопереноса с источником, обладающим кубической нелинейностью по температуре и периодической неоднородностью по волновой координате:

$$k_0 = 2T(\dot{A} + AT)^2 / (AB), \quad A(\alpha) = A_0 + A_1 \sin \omega \alpha, \quad B \equiv \text{const} \neq 0, \quad \alpha = x' + t, \quad x' = x/w,$$

где  $x$  – декартова координата;  $t$  – время;  $T$  – температура. Выделение / поглощение энергии зависит явным образом от волновой координаты  $\alpha$ . В таком тепловом процессе может наблюдаться нетривиальное поведение изотерм  $T(\alpha, \beta) = T_i \equiv \text{const}$ . Величина  $M = N/w$  представляет собой тепловое число Маха, равное отношению скорости изотермы  $N = dx_i/dt$  к скорости  $w$  распространения тепловых возмущений. На изотерме  $T = T_i$  изучена корреляция «источник энергии – тепловое число Маха». Функция  $k_v(T = T_i, \alpha) \leq 0$  определяет периодическую неоднородность стока энергии. Здесь приняты входные параметры задачи, для которых выполнено условие  $M+1 > 0$ . Установлено, что гладкому периодическому изменению стока энергии  $k_v(T_i, \alpha)$  соответствуют гладкие периодические колебания скорости изотермы. Ситуация меняется, если отсутствуют точки вырождения  $[k_v(T = T_i, \alpha = \alpha_0) = 0]$  стока энергии. Для таких режимов всюду  $k_v(T = T_i, \alpha) < 0$ , а на «холодных» изотермах число Маха имеет импульсно-периодический характер. Следовательно, гладкой периодической неоднородности стока энергии соответствуют импульсы, профиль которых имеет острые пики. Причина этого явления – нелинейная (кубическая) зависимость от температуры стока  $k_v(T, \alpha)$ . Типичные варианты зависимостей  $M(\alpha)$  приведены на рисунке.

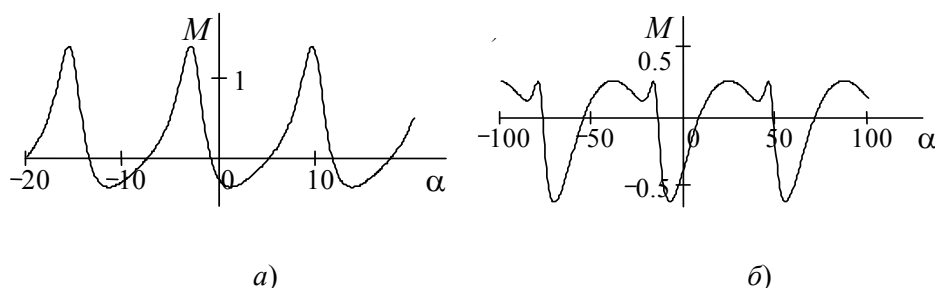


Рис. 1. Корреляция «источник энергии – тепловое число Маха»

*Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергоэффективность 2.1.17». Научный руководитель госпрограммы профессор О. Н. Шабловский.*

#### Литература

1. Шабловский, О. Н. Сильная физическая нелинейность и пространственная неоднородность тепловых полей в однокомпонентных и двухкомпонентных системах / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль, И. А. Концевой // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2014. – № 1. – С. 97–107.

УДК 536.2.01

## ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕПЛОвого ПОЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

И. А. Концевой

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

Цель работы: исследовать амплитудные, частотные и гистерезисные особенности явления резонанса для различных типов нелинейности свойств материала при импульсно-периодическом воздействии источника энергии на поверхность образца.

Релаксационная модель переноса тепла в неподвижной среде состоит из уравнения для теплового потока и уравнения баланса энергии:

$$(q/\gamma) + (q/t) + (V/x) = 0, \quad (u/t) + (q/x) = 0,$$

где  $x$  – декартова координата;  $t$  – время;  $T$  – температура;  $q$  – удельный тепловой поток;  $c = \rho c_p$  – объемная теплоемкость;  $\rho$  – плотность;  $\gamma$  – время релаксации теплового потока;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $w = (\lambda/c\gamma)^{1/2}$  – скорость распространения тепловых возмущений;  $c(T) = du/dT$ ;  $\lambda(T)/\gamma(T) = dV/dT$ . Искомые функции:  $T(x,t)$ ,  $q(x,t)$ ,  $x \in [0, h]$ ,  $t \geq 0$ ;  $h$  – толщина слоя материала. Вынужденные колебания возбуждаются поверхностным источником энергии, действующим на левую границу плоской пластины:

$$q(x=0, t) = q_0(t), \quad T(x=h, t) = T_w \equiv \text{const}; \quad q(x, t=0) = 0, \quad T(x, t=0) = T_w,$$

где  $q_0(t)$  – плотность потока энергии, поглощенной поверхностью образца материала,  $T_w$  – температура правой стенки;  $x \in [0, h]$ ,  $t \geq 0$ . Импульсно-периодическое тепловое воздействие на материал изучено для двух вариантов: 1) постоянная частота колебаний,  $q_0(t) = H(\sin(pt/2))^2$ ;  $p, H$  – const; 2) частота возбуждения  $p(t)$  – немонотонная функция времени,  $q_0(t) = H(\sin(P(t)/2))^2$ ,  $p(t) = dP(t)/dt$ . Решение краевой задачи выполнено численным методом интегральных соотношений А. А. Дородницына. Расчеты выполнены в безразмерных величинах для трех типов нелинейности температуропроводности  $a(T)$ . Изучено влияние толщины  $h$  образца, длительности всплеска частоты, определяемой параметром  $A_1$ , и величины самого всплеска на площадь петли гистерезиса  $S$  в плоскости «частота – добротность резонатора» при различных режимах изменения частоты  $p(t)$ . Представлены закономерности поведения динамического теплового гистерезиса в условиях сильной физической нелинейности процесса [1]. Типичный пример зависимости  $S = S(h)$  показан на рис. 1.

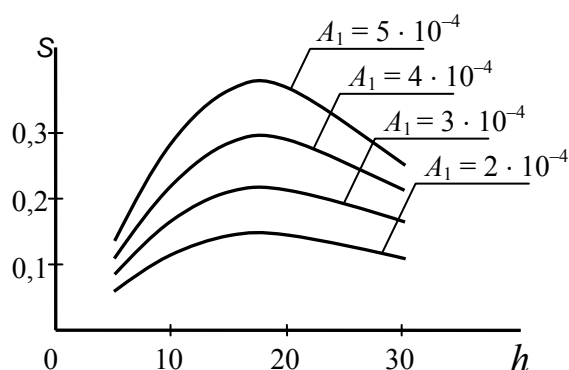


Рис. 1

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергоэффективность 2.1.17», научный руководитель госпрограммы профессор О. Н. Шабловский.

## Литература

1. Шабловский, О. Н. Физическая нелинейность и вынужденные колебания теплового поля высокотемпературного сверхпроводника / О. Н. Шабловский, И. А. Концевой // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2011. – Т. 16, № 1. – С. 30–37.

УДК 539.3

## О ПОСТРОЕНИИ КОНФОРМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ С КОНТУРНЫМИ ВЫРЕЗАМИ

С. Ф. Андреев

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

Трещины, возникающие на краях отверстий в элементах конструкций, рассматривают как предельные источники концентрации напряжений. Они моделируются в виде вырезов контура отверстия с бесконечно малыми радиусами закругления в вершине. При этом местные напряжения и деформации могут быть получены методом Н. И. Мусхелишвили с применением конформного отображения, преобразующего внешность единичного круга на заданную область  $S$ . В настоящей работе предлагается численный алгоритм решения задачи о построении конформно отображающей функции бесконечной односвязной области  $S$ , ограниченной кусочно-гладким контуром  $L$  с вырезом. Актуальность задачи обусловлена применением отображающей функции в расчетах коэффициента интенсивности напряжений для пластин и оболочек с ослабленными раскрывающимися трещинами отверстиями.

На основании совместного применения интеграла Кристоффеля–Шварца и метода тригонометрической интерполяции построен алгоритм конформного отображения внешности единичного круга на внешность области  $S$ , ограниченной кусочно-гладкой замкнутой кривой  $L$ , которая может быть задана дискретным рядом точек  $M_\gamma(z_\gamma)$ , ( $\gamma = 0, 1, 2, \dots, N$ ). Функция  $\omega(\zeta)$ , позволяющая с любой степенью точности осуществить указанное отображение, ищется в виде полинома, регулярного в области  $|\zeta| \geq 1$ . Коэффициенты полинома, при которых интерполяционный многоугольный контур  $L^*$  имеет параметрическое уравнение  $z_\gamma^* = \omega(\exp(i\theta_\gamma))$ , находим по формуле

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{\gamma=1}^N z_\gamma \cdot \exp(i \cdot k \cdot \theta_\gamma), \quad (k = 1, 2, \dots, N-2), \quad (1)$$

Трудность реализации данного алгоритма состоит в выборе соответствия точек  $\zeta_\gamma$  единичной окружности угловому шагу интерполяции  $\Delta\theta = 2\pi/N$ . Образы  $z_\gamma$  этих точек на  $L$  называются узловыми точками, их расположение на контуре  $L$  неизвестно. Установление соответствия точек  $z_\gamma$  и  $\zeta_\gamma$  представляет собой сложную задачу, для решения которой применяются различные приближенные методы. В работе предложен вариант равномерного распределения узловых точек  $z_\gamma$  по контуру.

Далее рассчитываются внутренние углы  $\alpha_k$  многоугольника  $L^*$ , которые вместе с узловыми точками  $z_\gamma^* = \omega(\zeta_\gamma^*)$  подставляются в интеграл Кристоффеля–Шварца

$$\omega^{**}(\xi) = D_1 \int_L \prod_{s=1}^{K_1} (\zeta - \zeta_s^*)^{\alpha_s} d\zeta + D_0.$$

После процедуры расчета максимального отклонения  $\delta$  точек  $z_\gamma^{**}$  от контура  $L$  можно прекратить, если  $\delta$  меньше величины допустимой ошибки  $\varepsilon$ . Если  $\delta > \varepsilon$  при выбранном  $N$ , то число точек на контуре  $L^{**}$  удваивается. Процедурой радиального сноса точек  $z_\gamma^{**}$  и новых промежуточных точек  $z_{2\gamma}^{**}$  на контур  $L$  определяется их соответствием точкам  $\zeta_{2N+1}^{**}$ , после чего можно продолжить итерационный процесс, возвращаясь к формулам (1) тригонометрической интерполяции.

УДК 621.323

## КОНТРОЛЬ ПОСЕЩАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВАНИИ WiFi-СЕТИ УНИВЕРСИТЕТА

Д. Е. Храбров, И. А. Мурашко

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

Задача автоматизированного контроля посещений занятий студентами может быть решена многими способами [1]. Например, с использованием *RFID* (англ. *Radio Frequency Identification*, радиочастотная идентификация) или аудио-видеоаутентификации. Однако каждый из методов имеет свои недостатки. Поэтому в работе предлагается программно-аппаратный комплекс идентификации студентов, основанный на стационарной WiFi-сети университета. В качестве мобильного устройства может быть использовано как стандартное мобильное устройство (смартфон, ноутбук, планшет), так и специализированное устройство идентификации.

Объект, снабженный устройством позиционирования, каждый раз снимает уровни сигнала доступных точек, которые занесены в список разрешенных. Для позиционирования было бы достаточно знать координаты точек и расстояния от устройства до каждой точки доступа. Однако расстояние не известно – обычно известен уровень сигнала, который проблематично с достаточной точностью перевести в меру расстояния.

Координаты получаются с помощью алгоритма взвешенного центраида (*Weighted centroid*) [2].

Алгоритм «Центроид» (*Centroid*) описан в [3] и представляет собой вычисление геометрического центра плоской фигуры, образованной несколькими точками доступа. В таком случае координаты агента вычисляются как среднее арифметическое координат точек доступа. Алгоритм взвешенного центроида отличается тем, что у каждой вершины геометрической фигуры есть свой вес. В таком случае координаты определяются по формуле

$$X_0 = \sum \mu_i X_i; \quad Y_0 = \sum \mu_i Y_i; \quad \mu_i = \frac{P_i^2}{\sum (P_j^2)},$$

где  $P_i$  – уровень сигнала до  $i$ -й точки доступа;  $\mu_i$  – характеристика веса.

По формуле видно, что каждая из координат рассчитывается не зависимо от других. Следовательно, формула легко масштабируется для  $N$ -мерного пространства, в частности, трехмерного. Также видно, что абсолютные значения уровня сигнала так же не важны, так как при вычислении этот параметр приводится к долям единицы.

Функционал комплекса позволяет на мобильном устройстве преподавателя отображать текущее состояние, вычислять рейтинг в режиме онлайн. Недостатком является то, что система не защищена от сознательного нарушения студентами правил распорядка идентификации в сети (передача в другие руки). Эта проблема выходит за рамки данной работы и может быть решена организационными мероприятиями, такими как контроль преподавателем или старостой.

#### Л и т е р а т у р а

1. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems / Hui Liu, H. Darabi, P. Banerjee, Jing Liu // Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions. – 2007. – Vol. 37. – P. 1067–1080.
2. Bahl, P. Radar: An in-building RF-based user location and tracking system / P. Bahl, V. Padmanabhan // IEEE INFOCOM, Tel-Aviv, Israel. – Mar. 2000. – P. 775–784.
3. Kolodziej, K. W. Local positioning systems: LBS applications and services / K. W. Kolodziej, J. Hjelm // CRC Press. – 2006. – P. 445.

УДК 004.942:539.371

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ**

**К. С. Курочка, И. Л. Стефановский**

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

Одним из наиболее применяемых элементов современных зданий являются диски перекрытий, состоящие из многопустотных плит. Расчет подобных конструкций представляет собой известные трудности [1], связанные с нелинейной и неоднородной структурой железобетона. Предлагается методика исследования напряженно-деформированного состояния многопустотных плит методом конечных элементов.

Плита разбивается на 5 слоев. Рабочая арматура располагается в 2 и 4 слоях. Бетон моделировался прямоугольными конечными элементами из линейно упругого изотропного материала. Арматура представлялась стержневыми конечными элементами. В общих узлах стержневые и плоские элементы деформировались совместно. При проведении исследований принята теория изгиба тонких пластин, основанная на

гипотезах Кирхгофа. Горизонтальные сквозные отверстия заменялись равновеликими параллелепипедами и исключались из рассмотрения.

В процессе нагружения закон деформирования многопустотной плиты принимался линейно-упругим до тех пор, пока величина напряжений не оказывалась равной некоторой критической величине. В случае если напряжения продолжали расти, материал рассматривался как упругопластический. Нелинейный закон деформирования определялся на основании экспериментальных данных [2].

Для проверки методики рассматривается фрагмент перекрытия, состоящий из двух многопустотных плит ПК 63.15.8АТ800А-8 с отверстием в середине пролета, рабочая арматура 6Ø14АТ800. Плита имеет 7 отверстий диаметром 159 мм, защитный слой бетона 20 мм [2]. Загружение проводилось от 0 Н/м<sup>2</sup> до 5740 Н/м<sup>2</sup>. Фрагмент перекрытия дискретизировался по длине на 200 конечных элементов, по ширине – на 48. Найденные значения прогибов сравнивались с экспериментальными данными [2].

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

При увеличении нагрузки погрешность линейного решения растет. В зоне предельных нагрузок линейное решение из-за большой погрешности не может применяться для практического использования при расчете прогибов многопустотных плит, и может быть использовано как некое приближение расчетов.

Предлагаемая методика позволяет существенно уменьшить время нахождения решения за счет разбиения плиты на небольшое количество слоев и использования плоских конечных элементов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Клованич, С. Ф. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций / С. Ф. Клованич, Д. И. Безушко. – Одесса : Изд-во ОНМУ, 2009. – 89 с.
2. Золотухин, Ю. Д. Результаты натурных испытаний многопустотных плит перекрытия экспериментального жилого дома с широким шагом несущих железобетонных поперечных стен в г. Речица / Ю. Д. Золотухин, В. С. Кульбицкий // Пространственные конструктивные системы зданий и сооружений, методы расчета, конструирования и технология возведения : тр. Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Минск, 2001. – Т. 1. – С. 59–70.

УДК 004.9:624.04:534

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ДИСКА ПЕРЕКРЫТИЯ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ**

**К. С. Курочка, Д. Н. Трубенюк**

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

В ряде случаев под воздействием внешних нагрузок в дисках перекрытий каркасных зданий могут возникать собственные колебания, приводящие к значительному изменению напряженно-деформированного состояния, что в свою очередь может привести к разрушению всего сооружения.

Для описания процесса собственных колебаний в дисках перекрытий каркасных зданий воспользуемся следующим уравнением [1], [2]:



$$[K]\{\delta\} + [C]\frac{\partial\{\delta\}}{\partial t} + [M]\frac{\partial^2\{\delta\}}{\partial t^2} + \{F\} = 0, \quad (1)$$

где  $[K]$  – матрица жесткости;  $[C]$  – матрица демпфирования;  $[M]$  – матрица масс;  $\{\delta\}$  – вектор узловых перемещений;  $\{F\}$  – вектор нагрузки.

Для моделирования используются конечные элементы в виде прямоугольника с четырьмя узлами, в каждом из которых по три степени свободы.

Для проверки методики рассматривается фрагмент перекрытия, состоящий из двух многослойных плит ПК 63.15.8АТ800АТ-8 с: длиной – 6,2 м, шириной – 1,49 м, высотой – 0,22 м, отверстием в середине пролета, рабочей арматурой 5Ø12АТ800. Плита имеет 7 отверстий диаметром 159 мм, защитный слой бетона 20 мм [2]. Загружение проводилось от 0 до 4532 Н/м<sup>2</sup>. Фрагмент перекрытия дискретизировался по длине на 20 конечных элементов, по ширине – на 14. Результат моделирования с величиной нагрузки 3286 Н представлен на рис. 1.

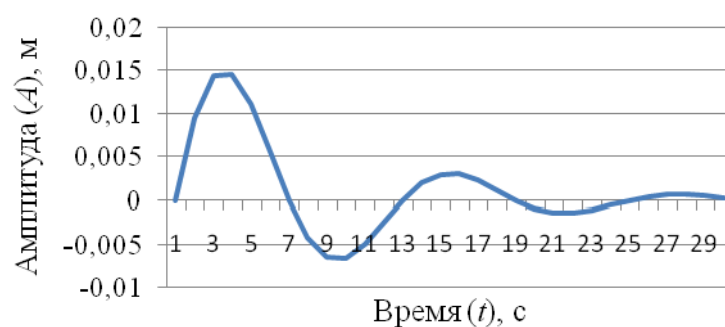


Рис. 1. Колебания диска перекрытия под действием внешней нагрузки

Результаты моделирования сравнивались с решением, описанным в ст. [3]. Расхождение полученных результатов не превысило 12 %.

#### Л и т е р а т у р а

1. Зенкевич, О. С. Метод конечных элементов в технике : учебник / О. С. Зенкевич. – М. : МИР, 1975. – 541 с.
2. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа : учебник / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : Сталь, 2002. – 596 с.
3. Пространственные конструктивные системы зданий и сооружений, методы расчета, конструирования и технология возведения : тр. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–12 окт. 2001 г. / Ин-т БелНИИС; редкол.: А. И. Мордич [и др.]. – Минск, 2002. – 287 с.

УДК 004.9:624.042.5:536

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

**К. С. Курочка, И. Г. Нестереня**

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

При деформации металлических конструкций происходит их нагрев, вызванный переходом части энергии деформации во внутреннюю энергию [1]. В таком

случае при проектировании конструкций должно быть учтено изменение температуры вызванное деформацией.

Для построения математической модели, воспользуемся МКЭ на основе вариационного принципа Лагранжа[2], с помощью которого может быть найдена энергия деформации:  $E = 0,5\{\delta\}^T [K] \{\delta\}$ , где  $\{E\}$  – энергия деформации;  $\{\delta\}$  – вектор напряжений;  $\{K\}$  – локальная матрица жесткости.

Для нахождения изменения температуры можно воспользоваться законами термодинамики [3], таким образом изменение температуры может быть определено следующим выражением:

$$\{\Delta T\} = \frac{\eta\{\delta\}^T [K] \{\delta\}}{2C_v}, \quad (1)$$

где  $T$  – температура;  $C$  – удельная теплоемкость.

Для динамического моделирования, решение происходит итерационно, на каждом следующей итерации начальными условиями являются результаты, полученные на предыдущем шаге [2].

Рассматривались тонкие пластинки из различных металлов под действием динамической нагрузки (толщина – 0,05 м, длина – 1 м, ширина – 1 м), закрепленные с двух сторон находящиеся под действием равномерно-распределенной нагрузки динамической нагрузки.

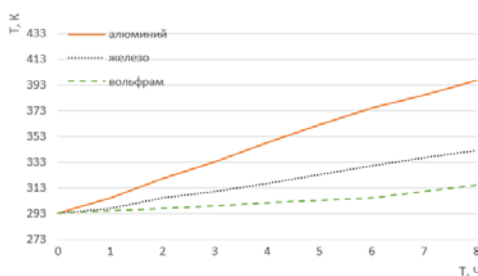


Рис. 1. Нагрев пластин от действия динамической нагрузки

Анализируя данные, приведенные на рис. 1, видно, что длительное воздействие динамической нагрузкой на пластину вызывает значительный ее нагрев, а значит, учет изменения температуры является необходимым при проектировании конструкций, подверженных динамическому воздействию.

#### Литература

1. Линдау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Линдау. – М. : ФизМатЛит, 2003. – Т. 8. Теория упругости. – 264 с.
2. Zienkiewicz, O. C. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics / O. C. Zienkiewicz // R. L Taylor, Butterworth-Heinemann, 2005. – 648 s.
3. Линдау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Линдау. – М. : ФизМатЛит, 2003. – Т. 9. Статистическая физика. – 496 с.

УДК 621.91

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧЕННОЙ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ОБРАБОТКИ

М. И. Михайлов

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

Цель исследований: получение математических моделей расчета топографии цилиндрической поверхности, обработанной различными видами резания.

Методика моделирования: так как формообразующая кромка зуба сборного инструмента может быть непрерывной или дискретной, с геометрическими параметрами, имеющими статистический характер, то для ее описания в системе координат, связанной с базовой осью или базовой плоскостью инструмента, требуются различные математические модели.

Моделирование локальных отсеков инструментальных поверхностей производили на основе отдельных формообразующих зубьев. При этом разделяли инструменты с главным вращательным движением, образующая исходной инструментальной поверхности которых формируется из сменных многогранных пластин (СМП) (как для внешнего вращающегося инструмента, так и для внутреннего), и инструменты с поступательным движением. Уравнения образующих исходных инструментальных поверхностей базировались на основе универсальной расчетной модели.

Для получения топографии обработанной поверхности была разработана расчетная схема формообразующей части зуба инструмента и универсальная кинематическая модель процессов формообразования, описываемая в виде:

$$\bar{r}_o = \prod_n [A_m(\psi_i^3)] \prod_k [A_l(\xi_j^3)] \prod_k [A_l(a_i)] \prod_n [A_m(\psi_i^n)] \prod_k [A_l(\xi_j^n)] \bar{r}_n,$$

где  $n = 3; m = 4, 5, 6; i = 1, 2, 3; k = 3; l = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$ .

Используя расчетную схему формообразующей части зуба инструмента, получали вектор, который необходимо преобразовывался в зависимости от положения СМП в корпусе инструмента.

Используя дополнительные соотношения связи, получены уравнения топографии обработанной цилиндрической поверхности (таблица).

### Параметры и связи при обработке типовой цилиндрической поверхности точением

Исходные параметры	Связи формообразования	Вид, условия обработки
$0 \leq \psi_1^3 \leq 2\pi N; N = 1 \dots K;$ $\psi_i^3 = 0; i = 2, 3; \xi_j^3 = 0; j = 2, 3;$ $a_i = 0; i = 1, 3; a_2 = r_d + L_n;$ $\psi_i^n = 0; i = 1, 2, 3; \xi_j^n = 0; j = 2, 3$	а) $\xi_1^3 = \frac{\psi_1^3}{2\pi} S_o^3; \xi_1^n = 0;$ б) $\xi_1^n = \frac{\psi_1^3}{2\pi} S_o^n; \xi_1^3 = 0$	Точение при: а) вращающейся и перемещающейся вдоль оси заготовке; б) вращающейся заготовке и перемещающейся вдоль оси инструменте

Полученные соотношения позволяют исследовать топографию обработанных поверхностей.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ  
ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

**Т. А. Трохова, В. Б. Попов**

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

Требования, предъявляемые в настоящее время к качеству проектирования сельскохозяйственных машин (СХМ), невозможно удовлетворить без глубокой и всесторонней проработки их математических моделей (ММ). Работа проектировщика на этапе моделирования связана со сложными и громоздкими аналитическими выкладками, предшествующими численному анализу. В свою очередь, грамотное управление и численная интерпретация ММ также требуют от инженера высокой математической квалификации и понимания специфических аспектов математических вычислений и преобразований, эрудиции и опыта выполнения подобной работы.

Очередной импульс разработки в области автоматизации проектирования СХМ дали достижения в создании систем искусственного интеллекта и, в первую очередь, теории экспертных систем и баз знаний. Объясняется это тем обстоятельством, что экспертные системы позволяют работать с неполностью формализованными методами и моделями, какими является основная часть методов структурного и параметрического синтеза узлов СХМ. Одним из инновационных классов экспертных систем в настоящее время являются гибридные экспертные системы (ГЭС), позволяющие не только объединять разные модели представления знаний в базах знаний, но и использовать несколько технологий их обработки, что делает этот вид систем достаточно гибким при настройке на конкретную предметную область.

Цель работы – разработка функциональной и инфологической модели системы автоматизации проектирования узлов СХМ, содержащей банк инженерных знаний в этой предметной области и основанной на методах и алгоритмах ГЭС, адаптированных к таким плохо формализуемым процессам, как функциональный и параметрический синтез СХМ.

Банк инженерных знаний системы содержит как полное описание типовых математических моделей узлов СХМ, которые должны настраиваться на параметры при автоматизированном проектировании, так и описание типовых процессов, в которых участвуют эти технические объекты при функционировании (торможение, начало движения, преодоление препятствий и т. д.). Методы и алгоритмы, применяемые в гибридных экспертных системах, принято делить на логические и эвристические, для автоматизации проектирования СХМ наиболее приемлемыми являются такие эвристические методы как метод представления пространства технических решений, методы аналогий и четкого и нечеткого сопоставления с образцом. Ход работы с системой строится таким образом, чтобы проектировщик, получая данные поэтапного моделирования, мог осознать специфику различных моделей, имел возможность влиять на последовательность расчетов и точность получаемых результатов.

УДК 631.869.4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ РАБОЧЕГО ГИДРОЦИЛИНДРА, НАГРУЖЕННОГО НАВЕСНОЙ МАШИНОЙ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ПОДЪЕМА

В. Б. Попов

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

Динамический анализ гидроприводов (ГП), нагруженных навесной машиной или орудием через различные механизмы подъема (МП) или навески (МН), определяет закон движения поршня гидроцилиндра (ГЦ), что уточняет кинетостатику МП и МН. Сначала выбирается динамическая схема замещения ГП, учитывающая распределение рабочей жидкости в элементах и гидромагистралях. При этом учитываются назначение МП и особенности работы ГП. Для математической модели (ММ) макроуровня выбор динамической схемы замещения ГП открытого типа определяется соотношением отдельных объемов жидкости в напорной магистрали до и после гидрораспределителя (ГР). В большинстве случаев приемлемая точность решения достигается при использовании ММ с одним приведенным объемом жидкости. Чаще ее размещают после ГР, т. е. весь ее переменный объем сосредотачивается у ГЦ. Аналитически определяются потери давления в гидромагистрали и изменение расхода жидкости у ГН и ГЦ с учетом объемного КПД и податливости гидравлической цепи. На основе уравнения Лагранжа 2-го рода составляется уравнение движения поршня ГЦ. Присутствие воздуха в рабочей жидкости формирует двухфазную рабочую смесь и провоцирует возникновение колебаний во время переходного процесса. Процесс подъема навесной машины протекает за сравнительно короткое время (3,6–4,3 с) и по характеру близок к адиабатическому. Поэтому температура, плотность, вязкость рабочей жидкости и количество воздуха в ней за время подъема принимаются постоянными. Считается, что структурные элементы ГП: шестеренный гидронасос (ГН), ГР и предохранительный клапан (ПК) работают безынерционно. В итоге получают ММ в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений.

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = \frac{E_{\text{нр}}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot Q - \frac{F_c \cdot E_{\text{нр}}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot \dot{S}; \\ p_2 = p_1 - (a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot \dot{S}^2) - \Delta p_{\text{др}}; \\ m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot m'(S) \cdot \dot{S}^2 = p_2 \cdot F_c - [F(S) + F_{\text{тр}}^{\text{нр}}(S)], \end{cases}$$

где  $F_c$  – площадь поршня ГЦ;  $\dot{p}_1$  – скорость изменения давления у ГН;  $Q$  – подача ГН с учетом объемного КПД;  $V_0$  – начальный объем жидкости;  $E_{\text{нр}}$  – приведенный модуль объемной упругости гидроцепи;  $p_2$  – давление у ГЦ;  $a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты, учитывающие инерцию жидкости; ламинарный характер ее течения; турбулентный характер течения жидкости и местные гидравлические сопротивления;  $m(S), m'(S)$  – соответственно приведенная масса и ее производная по обобщенной координате;  $F(S)$  – полезная нагрузка;  $F_{\text{тр}}^{\text{нр}}(S)$  – приведенная сила трения.

В результате решения системы уравнений методом численного интегрирования определяется закон движения нагруженного поршня ГЦ –  $S(t) = f(S, \dot{S}, \ddot{S}, t)$ , а также

изменение давления у ГН –  $p_1(t)$  и ГЦ –  $p_2(t)$ . Причем давление у ГН, определяемое приведенной нагрузкой и потерями давления в гидромагистрали, не превышает давление настройки ПК. Иначе часть жидкости сливается через ПК, а математически это выражается в решении «усеченной» системы уравнений до тех пор, пока давление у ГН не станет меньше давления настройки ПК.

УДК 658.512.011.56

**ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ  
ФОРМИРОВАНИЮ ДОКУМЕНТАЦИИ  
НА ДЕТАЛИ ТИПА «ВИНТ» В AUTOCAD**

**В. С. Мурашко, Е. С. Николкин**

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

Очень часто конструктору приходится выпускать документацию на ряд изделий, которые отличаются только своими размерами (линейными или угловыми), а форма их остается неизменной.

Сущность параметрического проектирования состоит в создании математической модели класса конструктивно однородных изделий, а затем в генерации изображений этих изделий по набору задаваемых размерных параметров.

Автоматизация формированием конструкторской документации на детали типа «Винт» с использованием параметрического проектирования в среде AutoCAD средствами Visual Basic for Applications (VBA) предусматривает следующую постановку задачи:

- начертить рабочий параметрический эскиз «Винт»;
- проанализировать и выявить все размеры, которые необходимы для программирования чертежей детали типа «Винт»;
- написать программу на VBA. Размеры деталей должны вводиться в программу пользователем с помощью формы, представленной на рис. 1;
- предусмотреть возможность создания диалогового окна выбора формата листа А1, А2, А3, А4 с атрибутами, на котором будет отображаться деталь;
- предусмотреть возможность функций переноса детали в любую указанную пользователем точку;
- запрос пользователю: повторить построение.

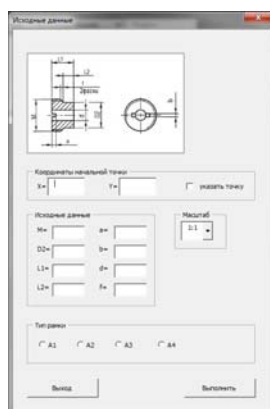


Рис. 1. Форма ввода исходных данных на детали типа «Винт»

Разработанный проект можно запустить или из редактора VBA, или непосредственно из командной строки AutoCAD *-vbarun vint \_vint*.

Использовать программу для автоматизации формирования конструкторской документации на детали типа «Винт» могут пользователи -онструкторы, а также студенты в курсовых и дипломных работах.

УДК 621.313.12

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ  
КАВИТАЦИОННО-ИМПУЛЬСНОЙ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКЕ  
НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН**

**Д. В. Ткачев**

*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,  
БелНИПИнефть, г. Гомель*

**А. И. Столяров, А. М. Селютин, В. М. Ткачев**

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

Методы волнового воздействия на нефтяные пласты обладают высокой технологической эффективностью при достаточно низкой стоимости и относительной простоте технической реализации. Успешность применения таких методов во многом определяется качеством предварительного анализа. На этом этапе особую роль играет гидродинамическое моделирование, применение которого позволяет не только оценить эффективность мероприятия, но и подобрать оптимальные параметры, а также избежать различных негативных последствий [1].

При численном моделировании двухфазного кавитационного течения использовались следующие модели и условия на входе: модель кавитации – «Эйлера»; модель кавитационного массопереноса – Zwart-Gerber-Belamri; модель турбулентности  $k-\varepsilon$  ( $k$  – турбулентная кинетическая энергия;  $\varepsilon$  – скорость ее диссипации).

В качестве объекта для численного моделирования и последующего проведения опытно-промысловых работ по апробации технологии кавитационно-импульсного воздействия на призабойную зону пласта была выбрана скважина 155 Ново-Давыдовского месторождения, НГДУ «Речицанефть». По результатам расчета в моделируемой области строились распределения жидкой и газообразной фракций, полного вектора скорости и давления (рис. 1). При заданных параметрах расчета расход на входе составил 3,7 кг/с. По полученным позже экспериментальным данным усредненное значение расхода  $\approx 3,5$  кг/с, что говорит об адекватности применяемой модели.

Амплитудно-частотная характеристика, построенная с помощью преобразования Фурье по результатам расшифровки манометрической записи, показывает наличие пульсаций давления рабочей жидкости с гармониками в частотном диапазоне 1–25 Гц и амплитудой 0,2–1,1 МПа (рис. 2). Дебит по нефти после обработки возрос с 2,33 т/сут до 8,2 т/сут.

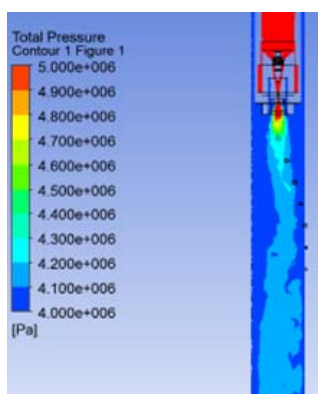


Рис. 1. Распределение давления, Па

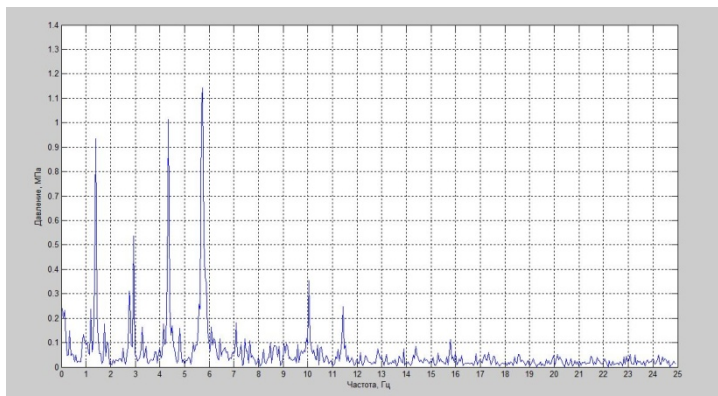


Рис. 2. АЧХ пульсаций давления

### Литература

1. Обзор методов моделирования кислотных обработок карбонатного пласта / С. Ю. Жучков // Нефтепромысловое дело. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2013. – № 2. – С. 29–33.

УДК 621.891

## УСТАНОВКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. А. Рюмцев, Ю. Е. Кирпиченко

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

При испытаниях на трение и износ схем «вал – подшипниковый вкладыш» и «цилиндрическая шайба – тормозная колодка» возникающая сила трения при вращении контрообразца приводит к неравномерному распределению давления на «входе» и «выходе» образца и, как следствие, смещению образца и неравномерному его истиранию. Задачей работы являлась разработка конструкции установки для оценки триботехнических свойств электрофрикционных материалов, обеспечивающей необходимое прилегание образца к контрообразцу в ходе испытания и плавное его нагружение для повышения воспроизводимости результатов испытаний.

Поставленная задача достигается благодаря осуществлению взаимодействия штоков нагружающего устройства установки через гидропластмассу, а также эвольвентной и конической формам их внешних концов, контактирующих с соответствующими опорными поверхностями на держателе образца. В частности эвольвентный профиль при контакте с эвольвентной опорной поверхностью держателя образца создает высшую кинематическую пару, что обеспечивает постоянство приложения усилия от штока.



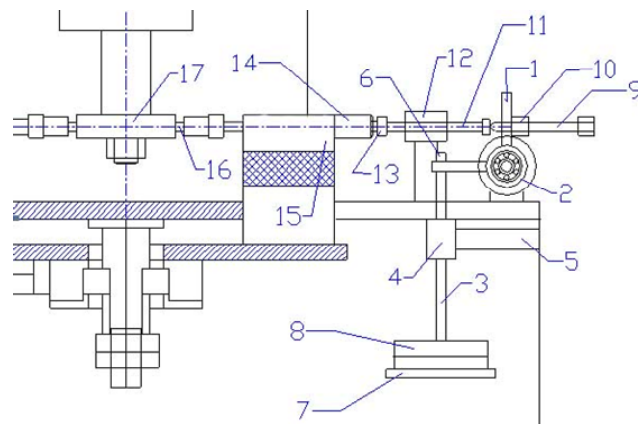


Рис. 1. Принципиальная схема механизма нагружения

1 – рычаг; 2 – кронштейн; 3 – стержень; 4 – прецизионный механизм линейного перемещения; 5 – станина; 6 – демпфер; 7 – грузоприемник; 8 – грузы; 9 – винт; 10 – контргайка; 11 – стержень; 12 – прецизионная опора линейного перемещения; 13 – изолирующий колпачок; 14 – каретка; 15 – основание; 16 – образец – щетка; 17 – контактный ролик

В результате выполнения работы были разработаны конструкции нагружающего устройства и нагружающего механизма для стандартных машин трения, составляющие установку для оценки триботехнических свойств электрофрикционных материалов, обеспечивающую необходимое прилегание образца к контрообразцу в ходе испытания и плавное его нагружение.

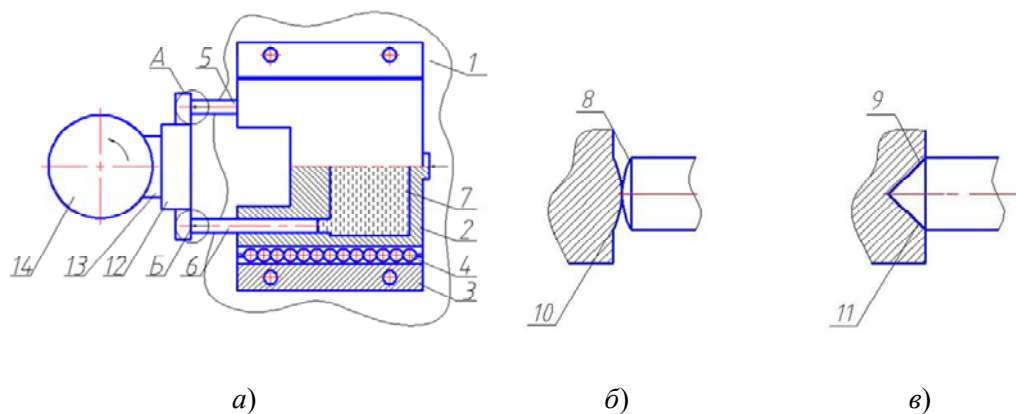


Рис. 2. Принципиальная схема нагружающего устройства:

а – схема нагружающего устройства; б – вид соединения внешнего конца штока эвольвентной формы и держателя; в – вид соединения внешнего конца штока конической формы и держателя: 1 – основание; 2 – каретка; 3 – направляющие; 4 – линейные подшипники качения; 5 – толкатель; 6 – толкатель; 7 – гидропластмасса; 8 – внешний конец толкателя 5; 9 – внешний конец толкателя 6; 10 – контактирующая опорная поверхность; 11 – контактирующая опорная поверхность; 12 – держатель образца; 13 – образец; 14 – контрообразец

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЖЕСТКОСТИ ЗАЖИМНЫХ ПАТРОНОВ

А. В. Литвин

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

В современных условиях производства очевидным является тот факт, что поддержание рабочего процесса на оптимальном уровне требует значительной степени концентрации внимания, усилий при проектировании оснастки, в том числе зажимных патронов (ЗП), что в результате способствует долгосрочному использованию оборудования.

Цель исследований – определение жесткости системы патрон–заготовка в производственных условиях. Под жесткостью упругой системы ЗП понимают ее способность оказывать сопротивление действию сил, стремящихся ее деформировать. Большая жесткость системы является одним из основных условий достижения точности при обработке. При отсутствии достаточной жесткости ЗП под действием сил резания и других сил система деформируется, что приводит к искажению формы детали и ее размеров. С жесткостью системы связано явление вибрации. Системы, обладающие большой жесткостью, могут работать с более высокими режимами резания без появления вибраций, что обеспечивает их большую производительность. При этом деформации стыков в ЗП порой значительно превосходят деформации самих деталей. При чистовой обработке контактные деформации обычно являются основными и в общем балансе упругих деформаций доходят до 90 %. Собственные деформации деталей могут иметь значительную величину при чистовой обработке на универсальных и тяжелых станках.

Жесткость системы ЗП–заготовка зависит от собственной жесткости различных звеньев системы, контактной жесткости стыков между ними, от жесткости масляных слоев, величин передаваемых нагрузок, сил трения, возникающих при относительном перемещения деталей вследствие нагружения и влияющих на способность системы противостоять деформациям под действием внешних нагрузок.

Ввиду непрерывного изменения размеров обрабатываемой заготовки процесс течения сопровождается динамической перестройкой, т. е. изменением параметров, определяющих динамические характеристики как процесса резания, так и жесткости заготовки, являющейся элементом технологической системы. При этом различают статическую и динамическую жесткость упругой системы ЗП, а также жесткость при резании и при движении. Различные виды жесткости отражают изменение работы реальной конструкции патрона, а также величины и координаты реакций в передаточно-усилительном механизме.

Динамическая жесткость определяется как отношение максимального (амплитудного) значения гармонической составляющей силы резания к амплитуде смещения при установившемся колебательном процессе.

Для экспериментального определения жесткости существуют методы:

- статический – проведение испытаний на неработающем станке;
- производственный – испытания при обработке заготовки. Жесткость определяют снятием заданного неравномерного припуска и непосредственным измерением возникающей при этом переменной силы резания, а соответствующие взаимные пе-

ремещения инструмента и заготовки находят измерением отклонения размера обработанной детали;

– динамический – испытания в процессе колебаний.

Если экспериментально установлены жесткости отдельных узлов, то для определения жесткости зажимного патрона необходимо упругие деформации отдельных узлов привести к зоне обработки и просуммировать.

Результаты исследований использованы при проектировании токарных станков ОАО «Веркон» (Киев).

**СЕКЦИЯ Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

УДК 621.375.8

**СИНТЕЗ РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ  
ЭКРАНОВ И АНТЕНН****В. Н. Мизгайлов***Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Известно, что голограмма плоская или объемная может быть записана путем взаимодействия когерентных волновых фронтов. Задавая требуемые волновые фронты в радиодиапазоне и области их взаимодействия, можно синтезировать радиоголограмму с необходимыми электродинамическими параметрами. Для тел с произвольной геометрической формой аналитическое решение задачи в общем случае получается, если проанализировать функциональные уравнения, связывающие  $F$  в дальней зоне с полем (током)  $I$  на поверхности объекта. В линейном приближении поле  $F$  и его породившие токи  $I$  связаны линейным оператором  $U$ :  $UI^* = F$ . Для решения задачи синтеза это уравнение, опуская математическое обоснование, сводится к приведенному с помощью оператора  $U^*$ , сопряженного прямому  $U$ :  $U^*UI = U^*F$ . Трактуя правую часть последнего уравнения  $U^*F$ , как поле, возникшее на объекте или вблизи него при облучении из дальней зоны этого объекта полем  $F^*$  – сопряженным заданному  $F$ , можно утверждать, что  $U^*F$  – радиоголограмма, записанная без опорного сигнала [1]. Если задано поле опорного излучателя на объекте, то под  $U^*F$  понимается радиоголограмма, записанная при наличии опорного сигнала. Из теории антенн известно, что возбуждение излучающей системы током (полем) вида  $(U^*F)^*$  дает в дальней зоне поле  $F_p$ , отличающееся в смысле наилучшего среднеквадратичного отклонения от заданного  $F$  тем меньше, чем больше область возбуждения. Такая трактовка позволяет сформулировать последовательность технологических операций, ведущих к практическому решению задачи синтеза радиоголограммы и антенны [2].

**Л и т е р а т у р а**

1. Мизгайлов, В. Н. Конструктивный синтез радиоголографических антенн / В. Н. Мизгайлов // Актуальные проблемы фундаментальных наук : тр. II Междунар. НТК, Москва, 23–28 янв. 1994 г. / Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана. – М. : ТЕХНОСФЕРА-ИНФОРМ, 1994. – Т. 3. – С. 79–80.
2. Мизгайлов, В. Н. Способ построения радиоголографических антенн / В. Н. Мизгайлов // Вторая Международная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, 18–19 мая 2005 г. – Минск. – С. 3–4.

УДК 656.25

**ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ НА КОРПУС МИКРОСХЕМ  
ПРИ РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ****Д. В. Комнатный***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

При ремонте микроэлектронной и микропроцессорной аппаратуры может произойти прикосновение пальца заряженного работника к корпусу какой-либо микросхемы на плате узла. Опыт эксплуатации микросхем показывает, что в этом случае можно ожидать повреждения микросхемы и нарушения работоспособности узла по причине электростатического разряда (ЭСР). Расчетные модели для такого варианта повреждения в подавляющем большинстве публикаций не рассматривались. Поэтому в работе ставится задача разработки структурной электрической модели данного варианта ЭСР и изучения переходных процессов в ней с целью выработки методов прогнозирования влияния разряда на работоспособность узлов микроэлектронных ТС.

Рассмотрение конструкций корпусов современных микросхем показывает, что главным механизмом повреждения микросхем при прикосновении к ней заряженного паразитной электризацией работника является пробой паразитной емкости корпуса на вывод микросхемы. Тогда в качестве основы для разработки структурной электрической модели следует принять схему замещения структурной электрической модели CDM-разряда заряженного трибоэлектризацией корпуса микросхемы и принципиальную схему испытательного генератора ESS-606A<sup>TM</sup>. Указанный генератор разработан специально для испытаний стойкости корпусов микросхем к ЭСР.

В состав схемы замещения входят моделирующая источник ЭСР последовательная RC-цепь, содержащая емкость  $C_{и} = 100 \cdot 10^{-12}$  Ф и резистор  $R_2 = 1500$  Ом, а также емкость корпуса микросхемы  $C_p$ . Для прогнозирования устойчивости микросхемы к ЭСР необходимо исследовать переходный процесс для напряжения на емкости  $C_p$ . Переходный процесс в такой схеме описывается одной экспоненциальной функцией. Напряжение на емкости монотонно нарастает и достигает максимума по завершении переходного процесса. Следовательно, максимальное напряжение, могущее вызвать пробой емкости, является принужденной составляющей переходного процесса. Она определяется по формуле

$$u_{прСр} = \frac{U_0 C_{и}}{C_{и} + C_p}.$$

В работе выполнен расчет напряжения на корпусе микросхем различной емкости при начальном напряжении на источнике ЭСР 6000 В (третья степень жесткости испытаний).

Анализ результатов расчетов показывает, что напряжения на корпусе микросхемы при напряжении на источнике ЭСР, соответствующем третьей степени жесткости испытания достаточно велики, около киловольт. Поэтому прикосновение несущего паразитный электрический заряд работника к корпусу микросхемы представляет собой существенную опасность и может послужить причиной отказов в работе узлов микроэлектронных и микропроцессорных систем.

УДК 656.25

## МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХОВЫХ ИМПУЛЬСОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Д. В. Комнатный

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

В научно-технической периодике по проблеме электромагнитной совместимости радиоэлектронной и электронно-вычислительной техники поставлена задача сопоставления испытаний указанной техники на устойчивость к электромагнитным помехам различной природы. Для сокращения числа испытаний и затрат времени на них предлагается разрабатывать такие процедуры испытаний, при которых по результатам испытаний на устойчивость к определенному виду импульсных электромагнитных помех можно было бы косвенно судить об устойчивости того же технического средства (ТС) к другим видам помех.

Особенную актуальность эта задача приобрела с появлением новых видов электромагнитных помех. В современных условиях с разработкой конструкций компактных генераторов существует угроза применения электромагнитных импульсов преднамеренного воздействия (ЭИПВ), которые отличаются высокой амплитудой, сверхширокой полосой частот, и, следовательно, высокой проникающей способностью. Степень устойчивости электронной и микропроцессорной техники к этому виду помех определяется путем лабораторных испытаний. Таким образом, появляется стремление по результатам этих тестов осуществить косвенную оценку последствий воздействия на ТС других видов электромагнитных помех. Для реализации этого необходимо иметь методику сравнения импульсов помех различной формы.

Наиболее часто ЭИПВ могут генерироваться в форме гауссова импульса и в форме биэкспоненциального импульса. Гауссов импульс  $u(t) = Ae^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$  имеет спектр  $S(\omega) = \sqrt{\pi} A \tau e^{-\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)^2}$ . Энергия этого импульса  $W = A^2 \tau \sqrt{\frac{\pi}{2}}$ . Вольт-секундная площадь –  $Q = \sqrt{\pi} A \tau$ . По монографии А. М. Крота следует принять активную ширину спектра гауссова импульса  $f_{ак} = \frac{2,5}{\sqrt{2\pi}\tau}$ , т. е. в 2,5 раз больше круговой частоты точки перегиба графика спектра.

Тогда с помощью предложенного проф. К. А. Бочковым спектрально-энергетического способа сравнения импульсов можно осуществить подбор импульсов различной формы, эквивалентных гауссовскому. В этом способе эквивалентные импульсы имеют одинаковую энергию и одинаковую активную ширину спектра. Например, для биэкспоненциального импульса, форму которого имеют ЭИПВ, импульсы электростатических разрядов, наносекундные импульсы помех, справедлива система расчетных соотношений:

$$k^2 A_0^2 \left( \frac{1}{2\beta_1} - \frac{2}{\beta_1 + \beta_2} + \frac{1}{2\beta_2} \right) = A_1^2 \tau \sqrt{\frac{\pi}{2}}; \quad \Delta f_{0,95} = \frac{2,5}{\sqrt{2\pi}\tau}.$$

Таким образом, появляется возможность сравнения импульсных помех различной природы с отличающимися формами импульсов.

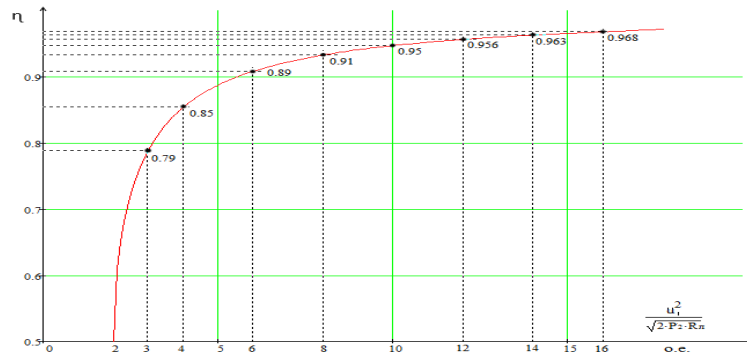
УДК 621.3.027.3

### К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Н. А. Мазаев, В. В. Соленков

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

Поскольку линии электропередачи (ЛЭП) постоянного тока обладают рядом преимуществ по сравнению с ЛЭП переменного тока, их разработка и применение не утратили своей актуальности и в настоящее время. В данной работе предпринята попытка установить связь между основными параметрами ЛЭП постоянного тока – коэффициентом полезного действия  $\eta$ , напряжением источника  $U_1$  в начале линии, сопротивлением линии  $R_{л}$  и мощностью  $P_2$ , потребляемой приемником с сопротивлением  $R_{п}$ , – с целью их оценки и обоснованного выбора, например, на стадии эскизного проекта.



Сопротивление приемника  $R_{п}$  можно представить в виде:

$$R_{п} = \frac{P_2}{I^2} = \frac{P_2(R_{л} + R_{п})}{U_1^2}, \tag{1}$$

откуда

$$R_{п}^2 - \left( \frac{U_1^2}{P_2} - 2R_{л} \right) R_{п} + R_{л}^2 = 0. \tag{2}$$

Решая квадратное уравнение (2) относительно  $R_{п}$ , получим [знак «-» перед корнем в формуле (3) опущен, так как соответствует значениям  $\eta < 50\%$ ]:

$$R_{п} = \left( \frac{U_1^2}{2P_2} - R_{л} \right) + \sqrt{\left( \frac{U_1^2}{2P_2} - R_{л} \right)^2 - R_{л}^2}. \tag{3}$$

Следовательно, коэффициент полезного действия равен:

$$\eta = \frac{R_{п}}{R_{п} + R_{л}} = \frac{R_{п} + R_{л} - R_{л}}{R_{п} + R_{л}} = 1 - \frac{1}{\frac{U_1^2}{2P_2 R_{л}} + \sqrt{\left( \frac{U_1^2}{2P_2 R_{л}} - 1 \right)^2 - 1}}. \tag{4}$$

Выражение (4) справедливо лишь при значениях  $U_1^2/2P_2R_n \geq 2$ , что соответствует значениям  $\eta \geq 50$  %. Ниже представлена зависимость  $\eta$  от величины  $U_1^2/2P_2R_n$ , построенная по выражению (4). Используя ее, легко выбрать, например, величины  $U_1$  и  $R_n$  при заданных значениях  $\eta$  и  $P_2$ .

УДК 621.311

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ  
ТИПА LINETROLL-110 Ем В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 кВ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ  
ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ**

**В. В. Годарев, М. Н. Погуляев, Г. И. Селиверстов**

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

Однофазные замыкания на землю – наиболее часто встречаемый вид повреждений линий электропередач в распределительных сетях напряжением 6–10 кВ.

Малые токи замыкания, неизменность линейных напряжений позволяют осуществлять электроснабжение потребителей и в послеаварийном режиме, но вместе с тем с течением времени увеличивается угроза развития повреждения в более опасные двух- или трехфазные короткие замыкания [1], [2]. Отыскание места повреждения, его локализация достаточно трудный процесс. Это связано со сложной конфигурацией сетей 6–10 кВ, их географическими условиями прохождения на местности.

Значительно снизить время поиска помогают датчики-индикаторы повреждений, установленные на узловых участках линий. Вместе с тем их применение затруднено из-за ограничения по величине тока срабатывания, минимальные значения которого у большинства типов выпускаемых датчиков лежат в пределах 6–10 А и увеличиваются с ростом тока нагрузки.

Расчеты и экспериментальные проверки показывают, что в распределительных сетях 6–10 кВ Гомельской области ток металлического замыкания на землю составляет 1–4 А, что значительно меньше установленного тока срабатывания. Прямое применение датчиков-индикаторов, например, типа LINETROLL-110 Ем в этом случае невозможно.

В настоящей работе авторами проработан вопрос искусственного увеличения тока замыкания на землю до значений достаточных для срабатывания датчиков LINETROLL-110 Ем.

Рассмотрены пути как собственного увеличения емкостного тока замыкания на землю, так и его активной составляющей. Установлено, что увеличение емкостного тока замыкания на землю нецелесообразно, так как это практически не приводит к желаемому изменению тока срабатывания, изменяется лишь его фаза.

Единственно реальным путем в данном случае является увеличение активной составляющей тока замыкания на землю. В этом случае токи нагрузки и замыкания складываются практически алгебраически и могут достигать требуемого для срабатывания датчика значения изменения  $\frac{di(t)}{dt}$ .

В работе детально рассматриваются технические аспекты реализации данного предложения и приводятся результаты экспериментальных исследований.



Литература

1. Евминов, Л. И. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учеб. пособие / Л. И. Евминов, Г. И. Селиверстов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 418 с.
2. Зацепин, Е. П. Особенности расчета емкостных токов замыкания на землю / Е. П. Зацепин, Е. В. Калинин // Вести высш. учеб. заведений Черноземья. – 2010. – № 4 (22). – С. 14–18.

УДК 621.398:628.971

**УТОЧНЕНИЕ КРИТЕРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФИЛЬТРОВ  
НИЗКОЙ И ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ, ПОСТРОЕННЫХ  
ПО СХЕМЕ САЛЛЕНА-КИ, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ  
КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ**

**П. П. Изотов**

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

На рис. 1 представлены принципиальные схемы фильтра низкой частоты (ФНЧ) (рис. 1, а) и фильтра высокой частоты (ФВЧ) (рис. 1, б), построенные по схеме Саллена-Ки (Salleney-Kelly) [1].

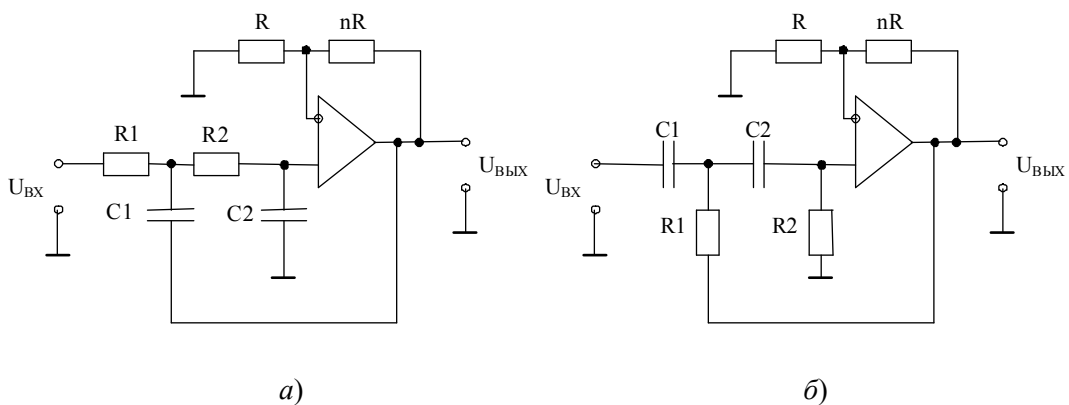


Рис. 1. Принципиальные схемы:  
а – фильтра низкой частоты; б – фильтра высокой частоты

Эти фильтры широко используются при построении фильтров Баттерворта, Бесселя, Чебышева [2]. В [3] предлагается использовать эти фильтры как активные фильтры низкой и высокой частоты второго порядка. Также в [3] для случая  $R1 = R2 = R$  и  $C1 = C2 = C$  определен критерий устойчивости при увеличении коэффициента усиления (К) ФНЧ и ФВЧ:

$$K = 1 + \frac{nR}{R} < 3. \tag{1}$$

Однако если  $R1 \neq R2$  и  $C1 \neq C2$ , то использование критерия устойчивости (1) может привести к неустойчивой работе ФНЧ и ФВЧ. Для уточнения критерия устойчивости воспользуемся передаточными функциями ФНЧ и ФВЧ:

$$W_{\text{ФНЧ}}(p) = \frac{K}{R1 \cdot C1 \cdot R2 \cdot C2 \cdot p^2 + (R1 \cdot C1 + R2 \cdot C2 + R1 \cdot C2 - R1 \cdot C1 \cdot K)p + 1}; \tag{2}$$

$$W_{\Phi ВЧ}(p) = \frac{K \cdot R1 \cdot C1 \cdot R2 \cdot C2 \cdot p^2}{R1 \cdot C1 \cdot R2 \cdot C2 \cdot p^2 + (R1 \cdot C1 + R2 \cdot C2 + R1 \cdot C2 - R2 \cdot C2 \cdot K)p + 1}. \quad (3)$$

Согласно теории автоматического управления, система второго порядка при положительных коэффициентах характеристического полинома является устойчивой. Характеристическими полиномами ФНЧ и ФВЧ являются знаменатели выражений (2) и (3) соответственно. Как видно из (2) и (3), в характеристических полиномах ФНЧ и ФВЧ коэффициенты во втором слагаемом могут быть отрицательными при увеличении  $K$ . Поэтому уточненный критерий устойчивости для ФНЧ и ФВЧ имеет следующий вид:

$$K_{\Phi НЧ} = 1 + \frac{nR}{R} < 1 + \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \frac{C2}{C1}, \text{ а } K_{\Phi ВЧ} = 1 + \frac{nR}{R} < 1 + \left(1 + \frac{C1}{C2}\right) \cdot \frac{R1}{R2}.$$

Таким образом, если  $R1 = R2 = R$  и  $C1 = C2 = C$ , то  $K_{\Phi НЧ} = K_{\Phi ВЧ} = K < 3$ . При разнесении значений номиналов элементов  $R1$  и  $R2$ , а также  $C1$  и  $C2$  можно получить предельный коэффициент усиления больше 3. Однако увеличение предельного значения  $K_{\Phi НЧ}$  приведет к уменьшению предельного значения  $K_{\Phi ВЧ}$  и наоборот. Например, если при  $R1 \ll R2$  и  $C1 \approx C2$   $K_{\Phi НЧ}$  может быть больше 3, то  $K_{\Phi ВЧ}$  не должен превышать 1 ( $K_{\Phi ВЧ} \leq 1$ ). При  $C2 \ll C1$  и  $R1 \approx R2$   $K_{\Phi ВЧ}$  может быть больше 3, а  $K_{\Phi НЧ}$  не должен превышать 1.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шкритек, П. Справочное руководство по звуковой технике : пер. с нем. / П. Шкритек. – М. : Мир, 1991. – 446 с.
2. Смит, Стивен. Цифровая обработка сигналов : практ. рук. для инженеров и науч. работников : пер. с англ. / Стивен Смит. – М. : Додэка-XXI, 2008. – 720 с.
3. Чубриков, Л. Г. Основы промышленной электроники / Л. Г. Чубриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2003. – 255 с.

УДК 620.179.147

### СИСТЭМА ДЫСТАНЦЫЙНАГА КАНТРОЛЮ МІКРАКЛІМАТУ

**А. У. Сахарук, Ю. В. Крышнёў, Я. А. Ільюшчыц**

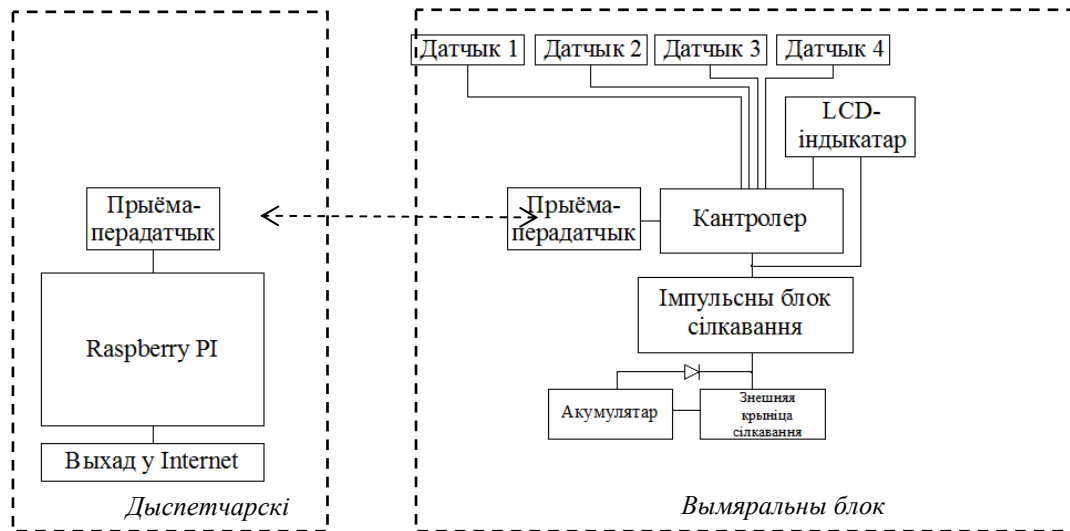
*Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт імя П. В. Сухого», Рэспубліка Беларусь*

У распрацаванай сістэме дыстанцыйнага кантролю мікраклімату абмен дадзенымі паміж вымяральной і дыспетчарскай часткай адбываецца праз радыёканал. Далёкасць сувязі ва ўмовах прамой бачнасці складае да 100 м (у памяшканні да 30 м), пры максімальнай хуткасці перадачы 2 Мбіт/с.

Сістэма ўключае ў свой склад вымяральны і дыспетчарскі блокі, структура і спалучэнне якіх паказаны на мал. 1.

Вымяральны блок прызначаны для пакетнай зборкі інфармацыі з знешніх датчыкаў паводле пратаколаў I<sup>2</sup>S, 1-wire, папярэдняй апрацоўкі атрыманых дадзеных і перадачы апрацаванай інфармацыі ў дыспетчарскі блок з дапамогай бесправяднога канала сувязі.

Дыспетчарскі блок прызначаны для атрымання інфармацыі ад вымяральных блокаў, выніковай апрацоўкі і інфармавання дыспетчара.



Мал. 1. Структура і спалучэнне вымяральнага і дыспетчарскага блокаў

Перад пачаткам працы дыспетчарскі блок выдае кожнаму вымяральнаму блоку ўнікальны серыйны нумар і вылучае канал сувязі для далейшага інфармацыйнага абмену. Затым складаецца табліца з інфармацыяй: серыйныя нумары падлучаных блокаў, нумары актыўных каналаў сувязі і выгляд вымярэнняў, які маюць вырабляцца. Кожны дыспетчарскі блок можа абслугоўваць да шасці вымяральных блокаў, гэта значыць атрымліваць дадзеныя ад 24 аддаленых датчыкаў.

У якасці дыспетчарскага блока выкарыстоўваецца аднаплатавы камп'ютар Raspberry Pi, з усталяванай на ім аперацыйнай сістэмай Linux. Уся атрыманая інфармацыя ад вымяральных блокаў захоўваецца на сэрверы, пасля чаго перадаецца ў глабальную сетку Internet.

#### Літаратура

1. Афіцыйны сайт вытворцаў ARM. – Рэжым доступу: <http://www.arm.com>. – Дата доступу: 01.04.2014.
2. Афіцыйны сайт вытворцаў Raspberry / афіцыйны сайт вытворцы аднаплатавага камп'ютара Raspberry – Вялікабрытанія, 2012. – Рэжым доступу: <http://www.raspberrypi.org>. – Дата доступу: 01.04.2014.

УДК 621.3.084.2

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ МАГНИТОВ НА ИХ ГИСТЕРЕЗИС

В. А. Карпов, А. В. Ковалев, А. В. Карпов, В. А. Черехун

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

Работа посвящена совершенствованию работы пропорциональных электрогидравлических систем, в части повышения их точности функционирования за счет снижения влияния гистерезиса электропропорциональных магнитов. Электрогидравлические системы с пропорциональным управлением широко используются в различных отраслях промышленности. Ключевым элементом, связывающим гидравлическую систему с электрическим сигналом управления, является электропропор-

циональный магнит (ЭПМ), который представляет собой электропривод линейного перемещения, но в отличие от традиционных приводов он имеет ряд характерных отличий [1], основные из которых следующие:

- неизменность усилия при заданном токе в пределах рабочего хода;
- пропорциональность усилия рабочему току;
- возможность работы якоря в зоне рабочей гидравлической жидкости под высоким давлением.

Естественно, что от качества выполнения вышеперечисленных отличий зависит точность электрического управления расходом рабочей жидкости – точность работы электрогидравлических систем. Между тем сведения об электропропорциональных магнитах доступные в открытых информационных источниках ограничены характеристиками, достаточными при питании их постоянным током [1]. Однако этот тип питания в данное время практически не используется ввиду его энергонеэффективности. Большинство современных ЭПМ питается широтно-импульсным (ШИ) напряжением, а ток регулируется путем изменения скважности. При этом возникает необходимость в знании параметров эквивалентной схемы замещения. С другой стороны, использование ШИМ приводит к появлению пульсации силы, передаваемой якорю, что приводит к эффекту вибрационной линеаризации. Данные о связи этих пульсаций с несовершенствами ЭПМ (гистерезис) и зависимости этих пульсаций от частоты и амплитуды ШИМ, используемой при питании ЭПМ, производитель ЭПМ не приводит. Исходя из этого, актуальна задача выяснения взаимосвязи гистерезиса ЭПМ с параметрами его питающего напряжения.

В результате была предложена методика определения эквивалентных электрических параметров схемы замещения ЭПМ при питании его ШИ напряжением. Теоретически показана и экспериментально подтверждена связь между частотой ШИ напряжения и результирующим гистерезисом, проявляющимся в ЭПМ. Выявлена связь между амплитудой ШИ напряжения и результирующим гистерезисом. Доказано, что чем выше амплитуда ШИ напряжения, тем ниже результат гистерезиса.

#### Л и т е р а т у р а

1. Пропорциональная техника и техника сервоклапанов : учеб. курс гидравлики / А. Шмитт [и др.]. – Лор на Майне/ФРГ : Маннесманн Рексрот ГмбХ, 1986. – 323 с. : ил.

УДК 621.3.084.2

### **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ МАГНИТОМ С ДАТЧИКОМ ПОЛОЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА**

**А. В. Ковалев, В. А. Карпов, В. А. Черехухин, А. В. Карпов**

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

С каждым годом электрогидравлические системы с пропорциональным управлением находят широкое применение в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Многие процессы с применением электрогидравлических систем идут в автоматическом режиме или режиме реального времени, где важно иметь возможность удаленного контроля и управления исполнительными органами гидросистем. Вследствие этого особую роль приобретают системы контроля и управления пропорциональными гидрораспределителями с датчиками положения.

Однако в некоторых областях применения пропорциональной гидроаппаратуры из-за ряда факторов нельзя с высокой точностью определить положение якоря, а соответственно и исполнительного органа в интересующий момент времени.

Для повышения точности управления гидрораспределителем предлагается применять управление электропропорциональным магнитом по замкнутому контуру с комбинированной обратной связью, т. е. управление осуществляется одновременно по току и по положению якоря-золотника. В существующих системах управления обратная связь реализуется таким образом, что при необходимости отсутствует возможность выбора типа обратной связи или их комбинации [1]. Кроме того, необходимо учитывать, что производители гидравлического оборудования не предлагают датчики положения якоря-золотника без распределителей, а, следовательно, отдельная стоимость этих датчиков соизмерима со стоимостью секции пропорционального гидрораспределителя.

Для устранения перечисленных выше недостатков систем управления пропорциональными гидрораспределителями предлагается выполнить систему управления, обеспечивающую линейность регулировки с минимальным гистерезисом, с возможностью выбора типа опорного сигнала, с использованием комбинированной обратной связи (по току и положению или по отдельности), с использованием в качестве датчика положения сенсора на основе эффекта Холла.

Был проведен ряд экспериментов по исследованию влияния температуры на дрейф выходного сигнала датчика Холла и крутизну преобразования. Предложен алгоритм нахождения аппроксимирующей зависимости выходного сигнала от температуры. Разработаны функциональные схемы систем управления пропорциональными гидрораспределителями с несколькими вариантами организации обратной связи по положению.

Применение полученных результатов при производстве электропропорциональной аппаратуры позволит создавать конкурентоспособные элементы контроля и управления для нее на мировом рынке электрогидрооборудования при их более низкой стоимости.

#### 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.

УДК 62-791.2:621.391.5

### **РАЗВЕТВИТЕЛЬ ТОКА КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ С ФУНКЦИЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ**

**С. Н. Кухаренко, Ю. Е. Котова, В. О. Старостенко**

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

Принцип действия электрохимической защиты подземных коммуникаций основан на поддержании защитного потенциала на поверхности защищаемого объекта. Защитный потенциал формируется за счет распределения потенциала грунта возникающего вследствие протекания защитного тока. Существующие правила катодной защиты предполагают групповое включение анодов к одному защищаемому объекту. Причем защитные токи в каждом из анодов должны устанавливаться индивидуально и корректироваться в процессе эксплуатации.

Целью данного исследования является разработка устройства распределения защитных токов между анодами. Принцип действия данного устройства основан на подстройке сопротивления, включенного последовательно в цепь каждого из анодов. Особенностью предложенного метода является автоматизация процесса поддержания защитного тока на заданном уровне, что снижает трудозатраты на обслуживание в процессе эксплуатации.

Специфика разрабатываемого устройства в том, что его подключение не предполагает системы дополнительного питания, следовательно, система управления должна получать энергию из регулируемой цепи. Ток, потребляемый системой управления, вносит некоторую погрешность в значение регулируемого тока.

С целью компенсации вносимой погрешности предложена структурная схема разветвителя, представленная на рис. 1. В структурной схеме система регулирования тока (СРТ) и система электропитания (СЭП) соединены параллельно и подключены к регулируемой цепи через датчик тока (ДТ). Этот датчик является устройством измерения в системе автоматического регулирования тока.

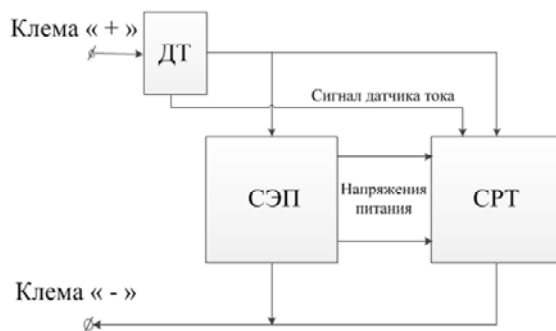


Рис. 1. Структура разветвителя тока

Система электропитания предназначена для питания микроконтроллера и схемы управления силовым транзистором стабилизированным напряжением. Входное напряжение СЭП может изменяться от одного до 100 В.

Стабилизатор тока поддерживает фиксированное значение тока, заданное оператором, в цепи электрода с диапазоном значений от одного до 18 А. Поддержание тока осуществляется за счет рассеяния избыточной мощности на регулирующем элементе – транзисторе. С целью формирования управляющих напряжений в качестве регулирующего элемента использован микроконтроллер фирмы Microchip PIC18LF2520, который выполняет функцию формирования опорного напряжения для стабилизатора тока, вычисления рассеиваемой транзистором мощности и ограничения заданного тока на допустимом уровне. Также микроконтроллер осуществляет функции индикации режимов работы и управления стабилизатором. На индикаторе отображаются значения заданного и фактического тока, падения напряжения на регулирующем элементе и рассеиваемой мощности.

Разветвитель токов катодной защиты позволит снизить уровень трудозатрат на настройку и поддержание необходимых уровней защитного потенциала.

УДК 620.179.147

### ДАСЛЕДАВАННЕ ІМПУЛЬСНАГА МЕТАДУ У ВІХРАТОКАВАЙ ДЭФЕКТАСКАПІІ

В. М. Лукашоў, С. М. Кухарэнка, Ю. В. Крышнёў

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

Любое прадпрыемства, якое выпускае прадукцыю з металу, вымушана ажыццяўляць праверку якасці вырабаў на адсутнасць у іх дэфектаў. У працэсе ўдасканалення сферы кантролю якасці былі засвоены розныя метады неразбуральнага кантролю (НК): акустычны, капілярны, магнітны, электрычны, радыяцыйны, цеплавы і г. д. [1]. Дадзенае даследаванне належыць да вобласці магнітнага неразбуральнага кантролю па прынцыпе віхратокавай дэфектаскапіі. У рабоце прыведзены дадзеныя даследаванняў імпульснага метаду пошуку дэфектаў у метале. Эксперыментальнае даследаванне імпульснага метаду дасць магчымасць вызначыць яго характарыстыкі і адчувальнасць. Пасля вынікі вымярэнняў дадуць магчымасць аналітычнай ацэнкі і выкарыстання прапанаванага метаду.

Праведзена эксперыментальнае даследаванне паслядоўнага LC-контур (L = 12,56 Гн, C = 10 нф). Контур узбуджалі імпульсным сігналам (шырыня імпульсу  $\tau = 100$  мкс, перыяд сігналу  $T = 40$  мс). У полі контуру змяшчалі ўзор і асцылографам рэгістравалі параметры загасальнага пераходнага працэсу ( $t_1, t_2$  – значэнні моманту часу першага і другога максімуму адпаведна;  $U_1, U_2$  – амплітуда першага і другога максімуму адпаведна,  $\delta = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \left( \frac{U_1}{U_2} \right)$  – каэфіцыент згасання пераходнага працэсу).

Вымярэнне было выканана для чатырох узораў з рознымі дыяметрамі адтулін. Вынікі вымярэнняў прыведзены ў табліцы.

#### Вынікі эксперыментальнага даследавання

Параметры пераходнага працэсу	Дыяметр адтуліны ва ўзоры $d$			
	–	3 мм	4 мм	10 мм
$t_1$ , мкс	600	590	590	570
$U_1$ , В	2,8	2,78	2,8	2,8
$t_2$ , мкс	2900	2870	2900	2850
$U_2$ , В	1,8	1,7	1,75	1,8
$\delta$ , с <sup>-1</sup>	192,1	215,7	203,5	193,8

Па выніках праведзеных даследаванняў можна зрабіць наступныя высновы:

1. Залежнасць каэфіцыента згасання ад дыяметра дэфекту  $\delta(d)$  нелінейная.
2. Прапанаваны метады дэфектаскапіі можа быць рэалізаваны на аснове фармальнай матэматычнай мадэлі (эмпірычнай залежнасці  $\delta(d)$ , знятай для канкрэтных узораў з улікам іх формы і матэрыялу).
3. Выкарыстанне ў якасці віхратокавага пераўтваральніка рэзананснага паслядоўнага RLC-контур павысіць перашкодабароненасць прылады і забяспечыць патрабаваныя характарыстыкі дэфектаскопа.

#### Літаратура

1. Герасимов, В. Г. Неразрушающий контроль качества изделий / В. Г. Герасимов [и др.]. – М. : Энергия, 1978. – 216 с.

УДК 620.179.147

### ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛА ОТ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ СТАЛИ

А. А. Наумук, А. В. Сахарук, С. С. Болденко,  
Ю. В. Крышнев, Э. М. Виноградов

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

Для определения значения магнитной проницаемости стали, которая применяется в изготовлении трубопровода, был проведен опыт [2], в ходе которого было установлено, что значение магнитной проницаемости для данного образца стали на частоте 20–30 Гц составляет  $\mu = 127\text{--}308$ .

Так как образцы представляли собой разомкнутый сердечник, что усложняло определение магнитной проницаемости, на их основе были изготовлены экспериментальные образцы сердечников тороидальной формы.

Был проведен ряд опытов по определению характеристик намагничивания тороидальных сердечников, в ходе которых косвенно были получены расчетные значения магнитной проницаемости. Схема установки для определения характеристик намагничивания приведена на рис. 1, а.

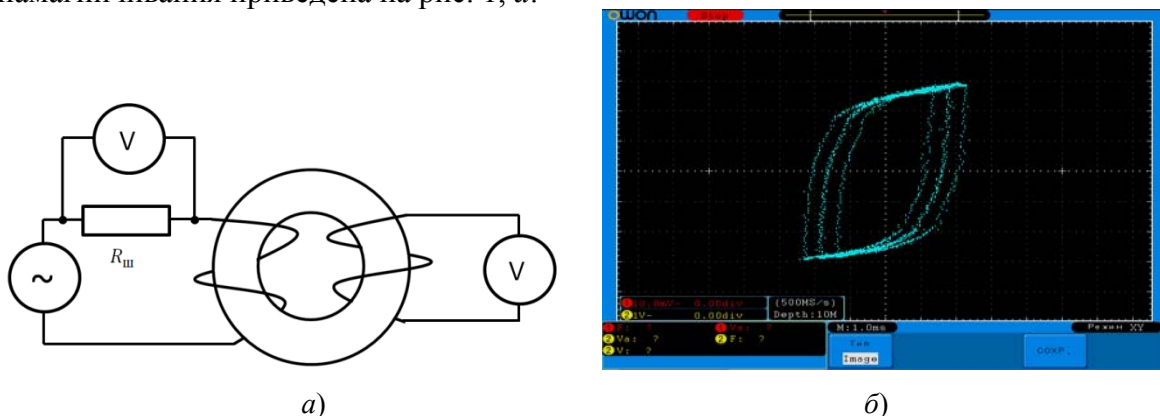


Рис. 1. Схема установки для определения характеристик намагничивания (а) и петля гистерезиса (б)

Магнитную проницаемость можно вычислить по формуле

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H},$$

где  $\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума ( $S = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м).

Магнитная индукция определяется как:

$$B = \frac{U}{SN\omega},$$

где  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота;  $N$  – количество витков;  $S = ab$  – площадь сечения сердечника;  $U$  – напряжение вторичной обмотки.

Напряженность магнитного поля в длинной катушке, согласно теореме о циркуляции, определяется как:



$$H = \frac{IN}{l_{cp}},$$

где  $I$  – ток в первичной обмотке;  $l_{cp} = \frac{\pi(D+d)}{2}$  – длина ферромагнитного сердечника.

**Результаты измерений магнитной проницаемости**

Значение тока в первичной обмотке тора $I$ , мА	Значение напряжения во вторичной обмотке тора $U$ , мВ	Значение магнитной проницаемости $\mu$
18	5	127,1
42	12	130,8
96	31	147,8
142	59	190,2
192	81	193,1
238	141	271,2
269	166	282,5
300	170	289,9
347	226	298,1
416	277	304,8
618	416	308,1

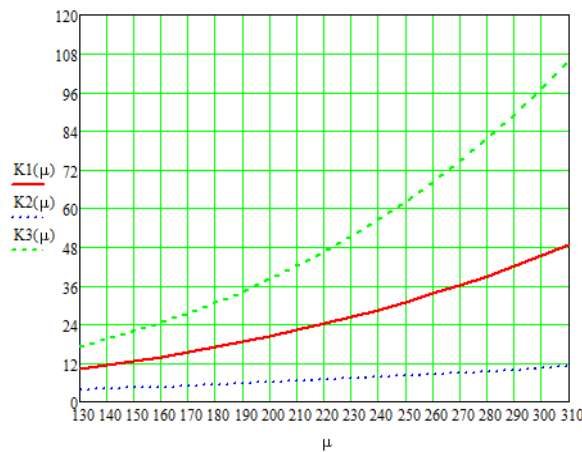


Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания от магнитной проницаемости материала и частоты: ( $K1(\mu)$  – коэффициент затухания сигнала при частоте 22 Гц;  $K 2(\mu)$  – коэффициент затухания сигнала при частоте 10 Гц;  $K 3(\mu)$  – коэффициент затухания сигнала при частоте 30 Гц)

Также был проведен эксперимент, в ходе которого была снята петля гистерезиса с помощью электронного осциллографа (рис. 1, б).

**Литература**

1. Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения относительной магнитной проницаемости и удельных магнитных

потерь мостом переменного тока : ГОСТ 12119.6–98. – Введ. 1999-07-01. – Минск : Изд-во стандартов, 2000. – 9 с.

- Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка средств поиска, управления и контроля состояния внутритрубного тампона-герметизатора». – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009.

УДК 62-791.2:621.391.5

## УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА

В. М. Лукашов, Л. А. Захаренко, В. О. Старостенко

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

Способ коррозионного мониторинга магистрального трубопровода с устройством катодной защиты относится к трубопроводному транспорту и может быть использован для проведения коррозионного мониторинга магистрального трубопровода. Способ заключается в измерении величин защитных потенциалов  $U_n$  трубопровода относительно соответствующих электродов сравнения в  $n$  контрольных точках, расположенных вдоль трубопровода с заданным пространственным шагом, по которым судят о коррозионном состоянии магистрального трубопровода.

Устройство (рис. 1) мониторинга осуществляет измерение защитного потенциала и последующую передачу информации об измеренной величине потенциала, температуре окружающего воздуха и уровне напряжения аккумуляторной батареи, питающей устройство, посредством GSM через интернет на веб-сервер.

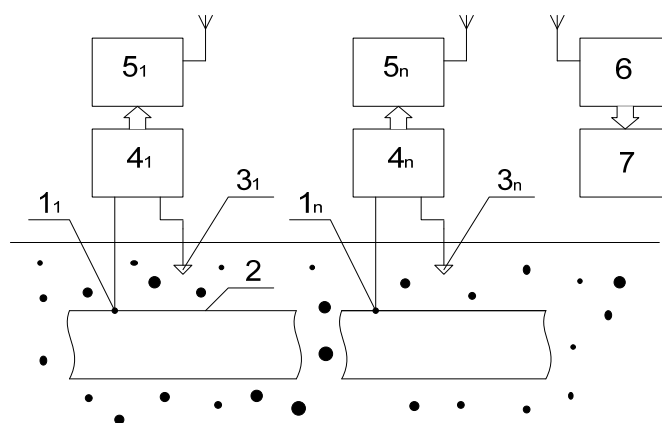


Рис. 1. Способ коррозионного мониторинга магистрального трубопровода:  
1 – катод; 2 – трубопровод; 3 – анод; 4 – контрольно-измерительная колонка;  
5 – устройство мониторинга; 6 – веб-сервер; 7 – ПК диспетчера

Для архивации данных, при отсутствии связи с сервером, используется карта памяти MMC (MultiMedia Card). Диспетчер после авторизации на удаленном сервере может просматривать полученную информацию в виде графиков. Также существует возможность задания интервала измерений непосредственно через страницу управления веб-сервера. Устройство организывает все необходимые функции для обеспечения непрерывного ведения мониторинга. Данное устройство может быть применено как для мониторинга защитного потенциала подземного нефтепровода, так и

для контроля уровня воды в реках в сезон паводка. Возможность измерения необходимых величин и передачи информации о них позволяет применять устройство мониторинга в разных областях промышленности и сферы услуг.

УДК 681.586.722

## МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ ИНТЕГРАТОРА ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

**В.А. Карпов, В. А. Хананов**

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

Целью данной работы является получение метода стабилизации режима работы по постоянному току устройства, интегрирующего сигнал  $E(p)$  фиксированной частоты.

Из-за неидеальности операционных усилителей на входах ОУ<sub>1</sub> присутствуют напряжение смещения  $U_{см}$  и входной ток  $I_{вх}$ . Одновременно с интегрированием входного сигнала  $E(p)$  интегрируется напряжение смещения и происходит перезаряд конденсатора  $C_1$  входным током ОУ<sub>1</sub>. Напряжение  $U_1$  интегратора, построенного на реальном ОУ, выглядит следующим образом:

$$U_1(p) = -(E(p) - U_{см}) \frac{1}{pC_1R_1} + I_{вх} \frac{1}{pC_1}. \quad (1)$$

На низких частотах сопротивление конденсатора стремится к бесконечности, что приводит к разрыву петли отрицательной обратной связи и к неустойчивости схемы. К тому же через некоторое время после включения конденсатор  $C_1$  заряжается до величины насыщения ОУ<sub>1</sub>.

В данной работе предложен метод исключения влияния  $U_{см}$  и  $I_{вх}$  основанный на частотном разделении. С помощью полосозаграждающего фильтра (рис. 1, а), настроенного на частоту генератора  $E(p)$ , из напряжения  $U_1$  (1) получаем сигнал  $U_{ф}$ , где  $K_0$  – коэффициент передачи на частоте сигнала  $E(p)$ ;  $K_1$  – коэффициент передачи на низких частотах:

$$U_{ф}(p) = K_0(-E(p) \frac{1}{pC_1R_1}) + K_1(U_{см} \frac{1}{pC_1R_1} + I_{вх} \frac{1}{pC_1}). \quad (2)$$

Так как типовое значение  $K_0 = -60$  дБ, можно считать, что в сигнале  $U_{ф}(p)$  составляющая с частотой генератора  $E(p)$  подавлена. Положительный вход ОУ<sub>1</sub> подключен к земле через низкоомный выход инвертора (рис. 1, в).

На постоянном токе  $K_1 = 1$  (рис. 1, б), ОУ<sub>1</sub> охвачен 100%-й последовательной отрицательной обратной связью и выходное напряжение равно:

$$U_1 = -(U_{см} + I_{вх}R_1). \quad (3)$$

Таким образом, режим работы интегратора по постоянному току стабилизирован введением ООС. Постоянное напряжение  $U_c$  на конденсаторе  $C_1$  поддерживается ОУ<sub>1</sub> и равно  $U_c = U_1$  (3), исключается схемотехнически.

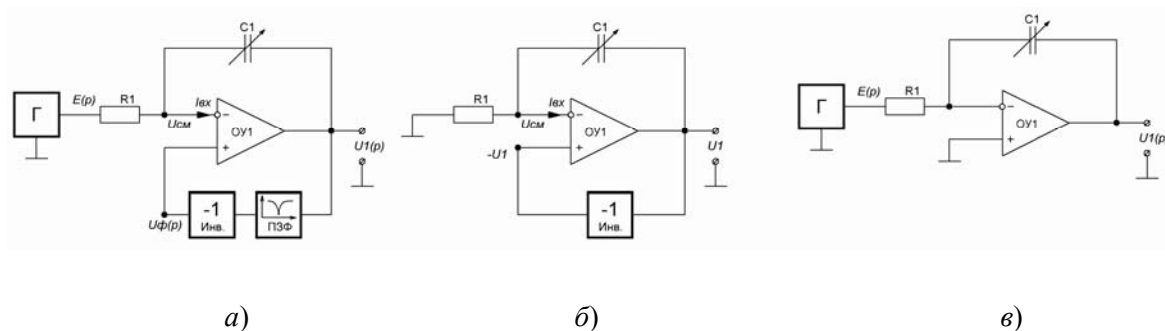


Рис. 1. Метод стабилизации интегратора по постоянному току:

*а* – цепь ОС; *б* – схема замещения на постоянном токе;

*в* – схема замещения на частоте генератора

Предложенный метод позволяет стабилизировать работу интегратора без снижения точности преобразования.

УДК 62-83-52

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА

И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, В. С. Захаренко

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

Повышенные требования к параметрам качества электрической энергии питающей сети делают актуальной задачу исследования влияния работы асинхронно-вентильного каскада (АВК) испытательных стендов на сеть. Основными факторами, влияющими на питающую сеть, являются коэффициент мощности АВК, состав и величина высших гармонических составляющих потребляемого и рекуперированного тока, вызывающих искажения формы сетевого напряжения. Гармонический спектр тока, генерируемый АВК, зависит в основном от типа вентильного преобразователя, используемого в схеме.

Целью данных исследований является анализ гармонического состава потребляемого и рекуперированного токов АВК с различными преобразователями в роторной цепи (рис. 1).

На основании уравнений имитационной модели [1], с учетом функциональных схем АВК (рис. 1), в программе Matlab R2012b была составлена модель, по которой произведен расчет токов статора и тока рекуперированного в сеть через роторную цепь, а также произведен анализ гармонического состава потребляемого и рекуперированного тока [2].

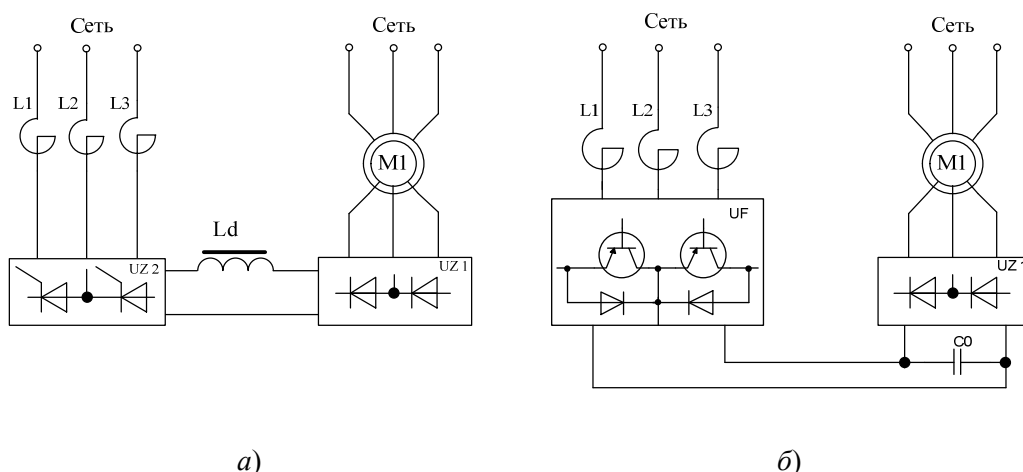


Рис. 1. Функциональная схема АВК:  
 а – с тиристорным преобразователем в роторной цепи;  
 б – с автономным инвертором напряжения в роторной цепи

В работе приводятся результаты проведенных исследований, в частности, определены формы и гармонический спектр рекуперлируемых через роторную цепь токов (при равных значениях частоты вращения и момента на валу). В результате получили, что коэффициент искажения рекуперлируемого в сеть тока для схемы АВК с тиристорным преобразователем в роторной цепи составил 41,8 %, а для схемы АВК с автономным инвертором напряжения в роторной цепи составил 8,2 %.

#### Литература

1. Захаренко, В. С. Особенности имитационного моделирования асинхронного двигателя для составления модели с учетом коммутации и при несимметричных схемах включения / В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 3. – С. 66–74.
2. Shchuplov, M. Spectral Analysis of Power Quality of Asynchronous Thyristor Loading Device / M. Shchuplov, I. Daroshchanka, V. Zakharenko // INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN LOGISTICS AND MECHATRONICS SYSTEMS ITELMS'2010. The proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference. Held on June 4–5, 2010, Panevezys, Lithuania – Kaunas : Technologija, 2010. – P. 48–53.

УДК 004.522

## ГОЛОСОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА

П. А. Меньшаков, И. А. Мурашко

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

Ввиду постоянного развития того или иного предприятия, появляются данные, которые необходимо защитить. Сегодня основным средством контроля доступа являются пропускные пункты, оборудованные различными средствами контроля доступа. Но большинство из средств контроля доступа имеют высокую цену. Причем большая часть расходов приходится на выделение персонального средства идентификации каждому пользователю. Решением данной проблемы может стать голосовая идентификация [1]. Использование биометрии позволяет отказаться от чипов и карт

доступа [2]. Исключить потерю средства идентификации и его кражу. А использование голоса позволит отказаться от дорогостоящего оборудования для считывания данных.

Для реализации голосовой идентификации возможно использовать следующую методику: при помощи микрофона получается запись голоса идентифицируемого и преобразуется в ее частотную характеристику и последующее преобразование в вектор характеристики, который впоследствии сравнивается с базой голосовых записей. Преобразование происходит в несколько этапов. На первом звуковая дорожка разбивается на кадры. Затем получается спектрограмма каждого кадра. Последним шагом является устранение шумовых эффектов и построение вектора характеристики голоса.

Итогом данного исследования стало модульное приложение, осуществляющее голосовую идентификацию пользователя. Программа состоит из трех основных частей. Первая выполняет добавление пользователей, вторая – идентификацию и третья рассылает информацию об идентифицированных пользователях.



*Рис. 1.* Спектрограмма кадра звуковой дорожки

В ходе обработки голосовой записи звуковая дорожка делится на кадры, по которым строится спектральная характеристика (рис. 1).

#### Л и т е р а т у р а

1. Bosi, M. Introduction to digital audio coding and standards / M. Bosi, R. E. Goldberg – Springer Science+Business Media, USA, 2003. – 434 p.
2. You, Y. AudioCoding: Theory and Applications / Y. You. – NY : Springer, 2010. – 349 p.

## СЕКЦИЯ Д. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

УДК 621.7.043

### К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА

**В. В. Василькив**

*Тернопольский национальный технический университет  
имени Ивана Пулюя, Украина*

Одним из прогрессивных методов изготовления изделий являются технологии послойного синтеза, известные также под названиями «Solid freeform fabrication» (твердотельное свободное выращивание), «Additive Fabrication», «Additive manufacturing» и т. д. Их классифицируют на два вида: «Bed deposition» и «Direct deposition» и 4 категории: экструдирование, фотополимеризация, гранулирование, ламинирование. За другой классификацией различают технологии фотополимеризации, спекания (склеивания) порошков и листовых материалов и технологии тепловой обработки твердых материалов. В стандарте ASTM F2792.15493231 аддитивные технологии разделены на 7 категорий: 1. Material extrusion – «выдавливание материала». 2. Material etting – «разбрызгивание материала», «струйные технологии». 3. Binder jetting – «разбрызгивание связующего». 4. Sheet lamination – «соединение листовых материалов». 5. Vat photopolymerization – «фотополимеризация в ванне». 6. Powder bed fusion – «расплавление материала в заранее сформированном слое». 7. Directed energy deposition «прямой подвод энергии непосредственно вместо построения». Выделяют также две принципиальные технологии: лазерная и струйная. Кроме того, технологии подразделяют: по применяемым строительным или модельным материалам (жидкие, сыпучие, полимерные, металлопорошковые и т. д.) (DIN8580); по наличию или отсутствию лазера; по методам подвода энергии для фиксации слоя построения (с помощью теплового воздействия, облучения ультрафиолетовым или видимым светом, посредством связующего состава и т. д.); по методам формирования слоя.

Представляется целесообразным и необходимым разработать классификацию рассматриваемых технологий на более широкой основе, тем более что ограниченная классификация таких технологий, предложенная их создателями, в настоящее время характеризует лишь занятую технологическую нишу в различных отраслях производства, не является исчерпывающей, а разнообразие способов материализации 3D CAD модели требует осознанного выбора той или иной технологии, тех или иных установок.

В соответствии с предлагаемой классификацией можно выделить следующие стадии, присущие всем способам формообразования деталей: 1. *Способ послойного нанесения модельного материала* (экструзия; наложение листовых двумерных заготовок; намотка волокон, проволок, полосового материала; сгребание насыпного материала и др.). 2. *Способ воспроизведения профиля сечения ШЗ в текущем слое* (перемещение локального участка влияния в пределах зоны ограниченной контуром профиля; контурирование (вырезка (лазером, резаком) по контуру); использование шаблона (фотомаски) и т. д.). 3. *Способ преобразования состояния текущего слоя (при необходимости) и соединение его с предшествующим слоем* (спекание; сплавление; склеивание; прессование; химическая реакция; фотополимеризация (с помощью лазера, УФ-лампы и т. д.)). 4. *Особенности разделения во времени процессов*

воспроизведения профиля сечения, его преобразования и соединения с предшествующим слоем (разделены во времени или подводятся одновременно в зону построения изделия). 5. Способ извлечения заготовки и удаления связующего материала (технологических опор) (вакуумное отсасывание; сплавление; растворение; механическое удаление измельченного или гранулированного материала путем высыпания; извлечение из жидкого необработанного материала (в агрегатном состоянии отличающимся от состояния материала детали) и т. д.).

УДК 621.311

### **ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНЫМИ РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**А. В. Иванейчик**

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

Проблемы управления электрической нагрузкой не являются новыми и связаны в первую очередь с повышением надежности и эффективности электропотребления, а также с планированием энергоэффективности. Многократно рассматривались вопросы управления графиками электрических нагрузок, моделирования расходных характеристик и энергоэффективных режимов работы электрооборудования, однако при этом не были рассмотрены вопросы энерго- и ресурсоэффективного управления режимом работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками при многоставочных тарифах на электроэнергию и изменяющейся производительности. После ввода многоставочных тарифов на электроэнергию наиболее энергоэффективные режимы работы технологического оборудования не всегда стали являться так же и наименее затратными. Это связано с возможностью работы оборудования с разной производительностью и энергоэффективностью в разные временные интервалы.

Для управления режимами электропотребления разработаны и применяются двухставочный и двухставочно-дифференцированный тарифы, которые вынуждают предприятие платить не только за потребленную электроэнергию, но и за максимальную мощность в период максимумов нагрузки энергосистемы. Этим производится стимулирование потребителей к снижению потребляемой мощности в период максимумов энергосистемы. В связи с этим на предприятиях с кусочно-непрерывными расходными характеристиками возникает важная задача по грамотному управлению режимами электропотребления с целью снижения не только расходуемой электроэнергии, но и затрат на ее покупку.

Необходимо определение энергоэффективных режимов электрической нагрузки технологического оборудования предприятий, направленных на снижение расхода электроэнергии и энергозатрат. При этом было установлено, что эффективность энерго- и ресурсосбережения может быть повышена за счет анализа электропотребления и формирования оптимальных режимов работы технологических установок, с применением уточненных моделей и методов комплексной оценки энергетической и экономической эффективности.

Для решения проблем управления электрической нагрузкой выполнены исследования и получены следующие основные результаты:

– исследована структура и эффективность электрических нагрузок предприятий с кусочно-непрерывными расходными характеристиками, установлен ресурс повышения энергоэффективности для ряда производств;



– разработана технико-экономическая модель и программа для оценки эффективности потребления электроэнергии в условиях многоставочных тарифов на электроэнергию;

– разработан метод и программа для определения энергоэффективных режимов технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками, алгоритм их формирования в нестабильных условиях производства, обеспечивающий снижение электропотребления при выполнении заданной производственной программы.

УДК 620.9

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ – ОДНО ИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Е. М. Ходько**

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

Энергетическая безопасность в Республике Беларусь лежит в основе обеспечения национальной безопасности страны. Одним из основных направлений повышения уровня энергетической безопасности является увеличение использования местных видов топлива, возобновляемых и нетрадиционных источников энергии.

Целью исследований является анализ и оценка ресурсообеспеченности Беларуси собственными энергоресурсами и возможность их использования в Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг.

Стратегической целью деятельности в области энергосбережения на период до 2015 г. является снижение энергоемкости ВВП Республики Беларусь на 50 % к уровню 2005 г. и увеличение доли местных ТЭР в балансе КПТ до 30 %. В республике есть резервы для выполнения этой задачи. В условиях Беларуси основным видом местного топлива является древесина, запасы которой на корню составляют около 1,5 млрд м<sup>3</sup>, прирост за год – 27,7 млн м<sup>3</sup>. Древесные ресурсы для производства энергии планируется увеличить с 2,6 млн т у. т. в 2011 г. до 2,8 млн т у. т. в 2015 г., в том числе за счет использования биомассы быстрорастущих растений на выработанных торфяниках площадью 180 тыс. га. Запасы торфа в стране оцениваются в 4 млрд т. Задания по использованию торфяного топлива на 2010–2015 гг. и на период до 2020 г. определяются согласно Государственной программе «Торф» и составят 1,3 млн т у. т. в 2015 г. и 1,4 млн т у. т. в 2020 г. В 2009–2015 гг. планируется увеличить строительство нескольких мини-ТЭЦ на торфе, в том числе в городах Речица, Хойники, Зельва. Значительный технически и экономически обоснованный потенциал 220–250 МВт – заложен в энергии белорусских рек. В результате реализации Государственной программы строительства в 2011–2015 гг. гидроэлектростанций в Республике Беларусь выработка электроэнергии на ГЭС к 2015 г. должна быть доведена до 0,51 млрд кВт · ч в год. Наибольший потенциал гидроэнергетики сосредоточен в Гродненской, Витебской и Могилевской областях. В рамках развития ветроэнергетики в Беларуси планируется построить ветропарк в пяти районах нашей страны: Новогрудском, Лиозненском, Дзержинском, Ошмянском, Сморгонском. Потенциал получения биогаза от всех источников оценивается в 160 тыс. т у. т. в год. Департаментом по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь разработана программа

из 42 потенциальных объектов для строительства биогазовых энергетических установок. Внедрение тепловых насосов для использования низкопотенциальных вторичных энергоресурсов и геотермальной энергии оценивается в 7,9 МВт электрической энергии. Потенциал использования солнечной энергии в нашей стране составляет 10 тыс. т у. т.

Сегодня в стране достигнуты неплохие результаты по энергосбережению. В целом в 1997–2011 гг. при темпах роста ВВП 254,1 %, практически без увеличения потребления ТЭР энергоёмкость ВВП была снижена более чем в 2,2 раза – на 56,7 %. Доля местных ТЭР в балансе КПП республики составила 25 % (более 3 млн т у. т).

Таким образом, к 2015 г. Беларусь намерена увеличить использование местных ТЭР до 5,7 млн т у. т., а замещение импортируемого природного газа – до 2,4 млрд м<sup>3</sup>. В результате сокращение выбросов парниковых газов к 2015 г. составит 2,7 млн т CO<sub>2</sub>. Рост доли МВТ в балансе КПП позволит придать дополнительный импульс развитию перспективных направлений в области энергетики. Планируется внедрение биогазовых установок электрической мощностью до 90 МВт; тепловых насосов для использования низкопотенциальных вторичных энергоресурсов и геотермальной энергии мощностью 8,9 МВт; 172 гелиоводонагревателей и гелиоустановок; установки замедленного коксования нефтяных остатков. Также предусмотрен ввод энергоисточников на древесном и торфяном топливе суммарной электрической мощностью до 49 МВт, тепловой – 1063 МВт; возведение новых и реконструкция действующих гидроэлектростанций мощностью 102 МВт; строительство ветроэнергетических установок мощностью 460 МВт. В результате не только сократится энергозависимость, но и за счет сохранения финансовых ресурсов внутри страны будет достигнут дополнительный экономический эффект.

УДК 621.313.2.032.434

## **УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ СТАРТЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

**А. Н. Вершинин**

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

Целью исследований является выбор способа диагностики текущего технического состояния стартерного электродвигателя, позволяющего значительно снизить стоимость обслуживания и увеличить срок службы стартера.

Стартерный электродвигатель применяется для запуска двигателей внутреннего сгорания, которые очень широко применяются для привода различных механизмов и транспортных средств. Стартерный электродвигатель представляет собой электродвигатель постоянного тока последовательного или смешанного возбуждения. В последнее время стартерные электродвигатели выполняются с возбуждением от постоянных магнитов и с планетарным редуктором. Такая конструкция позволяет значительно уменьшить габариты и массу стартерного электродвигателя при сохранении исходной мощности. Питание стартера осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 12 и 24 В. Связь якорной обмотки стартера с внешней электрической цепью осуществляется с помощью коллектора и медно-графитовых щеток. В процессе эксплуатации стартера происходит износ и ламелей коллектора и медно-графитовых щеток. Причем щетки приходят в негодность быстрее, чем коллектор.

Одной из особенностей стартерного электродвигателя является то, что при достижении медно-графитовыми щетками некоторой критической длины нарушается контакт

между щетками и коллектором и между ними начинает гореть электрическая дуга. Это приводит к расплавлению пластин коллектора и преждевременному выходу стартера из строя. Стоимость ремонта стартера возрастает в этом случае в десятки раз.

Для предотвращения выхода якоря из строя и снижения стоимости ремонта, т. е. замены только медно-графитовых щеток, необходимо вовремя определить момент появления электрической дуги между щетками и коллектором.

В результате исследования были проведены следующие способы непрерывной диагностики: измерение тока в цепи каждой щетки и измерение падений напряжения на контакте щетка-коллектор и сравнение их между собой.

Как правило, скорость износа положительных щеток больше, чем отрицательных. Поэтому первыми выходят из строя именно положительные щетки. Следовательно, измерять падение напряжения необходимо на положительных щетках. При этом сопротивление контакта между положительными щетками и коллектором в условиях нормальной эксплуатации практически не отличается друг от друга. И только тогда, когда на одной из щеток появляется электрическая дуга, сопротивление контакта резко изменяется. Именно в этот момент эксплуатация стартерного электродвигателя должна быть прекращена и произведен его текущий ремонт, т. е. замена медно-графитовых щеток. Своевременная замена щеток позволит предотвратить разрушение коллектора и тем самым значительно уменьшить стоимость ремонта и увеличить срок службы стартера.

Более надежным и информативным оказался второй метод, позволяющий своевременно определить момент замены щеток.

УДК 621.311

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Ю. Н. Колесник**

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

В современных условиях функционирования энергоемких производств энергетические затраты существенно влияют на себестоимость продукции и могут быть снижены за счет энергосбережения. Вместе с тем в условиях многообразия энергоэффективных технологий с одной стороны, нестабильных режимов работы технологического оборудования и систем энергоснабжения с другой, решение практических проблем энергосбережения усложняется. Для решения задач разработана информационно-аналитическая система, позволяющая автоматизировать процессы выбора энергоэффективного оборудования из различных вариантов, а также планировать энергоэффективные режимы работы оборудования.

В системе решение проблем энергосбережения предложено основывать на интерактивных приложениях множественного взаимодействия, состоящих из расчетного и справочного блоков. Для создания расчетного блока системы разработаны оригинальные математические модели, алгоритмы, методы и программное обеспечение. Справочный блок включает сведения об энергоэффективном оборудовании.

Система работает следующим образом. Собираемая с помощью систем учета электроэнергии и технологических факторов информация обрабатывается и анализируется. Разработанные математические модели, алгоритмы и методики позволяют оценивать и контролировать энергоэффективность, планировать мероприятия по ее

повышению. При этом выполняется такое планирование работы энергоемкого оборудования предприятия, которое обеспечивает минимальный расход электроэнергии и/или минимальные затраты на покупку электроэнергии при заданных технологических параметрах. Также предложено использовать альтернативный показатель энергоэффективности – электропотребление в однородном технологическом состоянии. С учетом факторов, влияющих на энергоэффективность, показатель позволяет различать однотипные режимы и формировать базу данных для сравнения режимов работы оборудования. В результате заданная производственная программа может быть реализована с минимальным расходом энергии.

Одной из наиболее сложных задач повышения энергоэффективности является оперативное управление электропотреблением – управление электрической нагрузкой в течение суток. Система решает задачу оптимизации электрической нагрузки путем управления режимами энергоемкого технологического оборудования в условиях многоставочных тарифных систем. При этом возможно снижение затрат на покупку электроэнергии, а также снижение расхода электроэнергии на производство продукции.

Немаловажным элементом системы является блок технико-экономического анализа мероприятий по энергосбережению. Пользователь может наглядно оценить затраты, а также величину и стоимость сэкономленной электроэнергии за счет конкретного мероприятия. Программа также предусматривает возможность пополнения базы данных об энергосберегающем оборудовании.

Таким образом, предложенный подход способствует непрерывному повышению эффективности систем энергопотребления за счет энергосбережения и снижения энергозатрат.

УДК 681.518

## **РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ ТЕМПЕРАТУР ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИХ ПОВЕРХНОСТИ**

**Д. И. Зализный**

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

Температура – определяющий фактор для работоспособности объектов электроэнергетики: генераторов, силовых трансформаторов, кабелей, электродвигателей и др. Осуществляя непрерывный контроль их внутренних температур, можно реализовать их защиту от перегрева, а также на ранней стадии диагностировать развивающиеся в них повреждения.

Как правило, температуры внутренних элементов объектов электроэнергетики не доступны для непосредственного измерения, поэтому осуществляют их косвенный расчет на основе математических тепловых моделей. Очевидно, что идеальных моделей не бывает, и все они имеют погрешность по отношению к реальным тепловым процессам. Для снижения этой погрешности модели приходится усложнять, увеличивая тем самым требования к вычислительным мощностям приборов контроля, и, соответственно, их стоимость.

Автором данной работы предлагается методика расчета внутренних температур объектов электроэнергетики в режиме реального времени, которая может быть реализована в рамках программного обеспечения восьмиразрядного микроконтроллера. Методика основана на упрощенной математической тепловой модели, в которой контролируемый объект рассматривается как система трех или четырех одно-

родных тепловых тел. Исходными данными для модели являются справочные и нормативные параметры объекта, а также непосредственно измеряемые значения температуры его поверхности в некоторой точке предполагаемого максимального нагрева, значения температуры воздуха, и, при необходимости, значения токов и напряжений всех фаз. Математическая модель отличается тем, что содержит коэффициент, умножаемый на все виды расчетных потерь активной мощности и определяемый на каждом шаге косвенным путем через значения измеренных величин и значения, полученные на предыдущих шагах. Этот коэффициент частично компенсирует отличие исходной упрощенной модели от реальных тепловых процессов, т. е. делает модель адаптивной, самонастраиваемой. Алгоритм его расчета по сложности сравним с алгоритмами расчета экспоненциальных составляющих температур, т. е. не требует значительных вычислительных мощностей.

Предлагаемая методика достаточно универсальна, так как на стадии алгоритмов использует практически идентичные расчетные соотношения для разных контролируемых объектов. Изменяются в основном коэффициенты при экспоненциальных составляющих температур. Автором в течение последних пяти лет в рамках госбюджетных НИР проведены теоретические и экспериментальные исследования для силовых трансформаторов и кабелей, подтвердившие адекватность и перспективность этой методики. В данный момент разрабатываются алгоритмы для электродвигателей. В дальнейшем планируется рассмотреть электрогенераторы, силовые конденсаторы и другие объекты.

Разработанная методика может быть использована как в программном обеспечении существующих средств защиты и диагностики объектов энергетики, так и при разработке специализированных устройств. Так, автором реализован действующий макет устройства на основе восьмиразрядного микроконтроллера с памятью программ в 8 кБ, реализующего эту методику.

Внедрение предлагаемых алгоритмов повысит надежность эксплуатации объектов энергетики.

УДК 622.23.08

## **ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**С. И. Бахур, А. А. Алферов**

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

Программный инструментарий данного исследования используется для уменьшения негативных последствий снабжения потребителей электроэнергии низкого качества (колебаний, несимметрии напряжения, отклонения частоты в электрической сети); повышения надежности электрических объектов и систем; совершенствования методов расчета показателей эксплуатационной надежности электрооборудования с учетом условий и режимов работы.

Применение программных пакетов электрического моделирования (*Multisim, OrCad, Simulink*) всех элементов систем электроснабжения по отдельности и в комплексе осуществляется с целью проверки существующих результатов энергопотребления и прогнозирования изменения электропотребления. Применение программ электрического моделирования позволяет экономить время на аналитических расчетах, создавать библиотеки баз данных, программировать отказы элементов, использовать реальные и виртуальные элементы с заданными характеристиками, применять большое число вирту-

альных приборов, часто недоступных на практике (цифровой запоминающий осциллограф, плоттер Боде, частотомер, логический анализатор, измеритель нелинейных искажений, приборы LabVIEW), возможность объединения в пакет различных анализов или образцов одного и того же анализа для последовательного выполнения и т. д.

По результатам моделирования электрических систем цехов и целых предприятий создана библиотека шаблонов, с помощью которой исследователю не требуется заново создавать рабочий прототип, а лишь составить свою схему. На данном этапе проводились приборные эксперименты по анализу влияния различных факторов (отклонения напряжения и частоты) на электропотребление (активная и реактивная мощности, гармонический состав тока и т. д.) для используемого и нового оборудования, рекомендованного при проведении энергоаудита на предприятиях машиностроения. Этап приборных экспериментов включает подбор соответствующего оборудования и методик испытаний. В перечень средств измерений входят: анализаторы качества электроэнергии, люксметры и другие приборы.

Основная задача применяемого статистического анализа – создание эффективного инструментария оценки параметров надежности и электропотребления отдельных объектов и сложных технических систем. За основу приняты такие программы, как MS Excel, Statgraphics, Statistica, SPSS. Его применение основано на использовании корреляционного, регрессионного, конъюнктного, дисперсионного, факторного анализов и теории фильтрации.

На основании полученных результатов создана программа математического расчета параметров надежности и электропотребления с учетом условий эксплуатации оборудования с простым, интуитивно понятным интерфейсом; приложение для смартфонов позволяет непрерывно пополнять библиотеку базы данных редактором в зависимости от результатов опыта эксплуатации нового оборудования пользователями.

Результаты исследования позволяют: прогнозировать показатели надежности электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации; оценить степень опасности электрических систем; разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования.

УДК 621.313.333

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Т. С. Короленок**

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

**С. И. Бахур, А. А. Алферов**

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

Применяемые вентильно-индукторные двигатели (ВИД) на транспортных средствах отличаются высокой надежностью, простотой конструкции, повышенным КПД и массогабаритными показателями, технологичностью изготовления, более низкой стоимостью в серийном производстве [1], [2]. С целью повышения надежности и КПД ВИД предлагается использовать математическое моделирование механической, магнитной, электрической систем, выполнять тепловой расчет проектируемых электрических машин, апробируя полученные результаты с исследуемыми характеристиками действующих ВИД.

Процесс моделирования характеристик ВИД состоит из ряда этапов, для каждого из которых выполнен свой набор готовых шаблонов прототипов в различных

программах моделирования, критерии для верификации, методики пошаговой реализации, критерии оптимизации. Все этапы взаимосвязаны и предполагают существующие конструкции и характеристики параметров, а также возможность изменения в зависимости от целей разработки; существующий инструментарий разработки позволяет решать исследовательские и оптимизационные задачи.

Реализация магнитной системы ВИД выполнялась в программах *ELCUT* и *FEMM*, позволяющих рассчитывать параметры и топологию магнитного поля с учетом насыщения стали магнитопровода. Расчеты распределения магнитного поля всех программ основаны на методе конечных элементов исходных дифференциальных уравнений поля, решаемых итерационным методом Ньютона-Рафсона. Следует отметить возможность автоматизации процедур расчета, визуализации, выбора эффективных параметров с помощью программирования на языке *Femm lua console*.

Реализация электрической системы выполняется в пакете визуального программирования *Simulink*. Данный способ моделирования позволяет эффективно организовать процесс исследования ВИД, исключив из него этап формирования системы дифференциальных уравнений в виде задачи Коши и написание процедур численного интегрирования. Подходы блочного моделирования позволяют легко изменять структуру ВИД (особенно схемы полупроводниковых преобразователей) без «переписывания» исходной системы дифференциальных уравнений.

В рамках данной работы проанализированы и дополнены методики расчета геометрических параметров ВИД. Полученные результаты позволяют выполнять расчет и исследовать характеристики индукторной машины при различных ее конфигурациях и числе фаз. Для реализации модели необходима информация об архитектуре двигателя, включающая число фаз, внешний диаметр статора, число полюсов статора и число полюсов ротора. Созданы модели ВИД, позволяющие исследовать его характеристики при любой конфигурации фазных обмоток и коммутации токов в них.

#### Л и т е р а т у р а

1. Кузнецов, В. А. Вентильно-индукторные двигатели / В. А. Кузнецов, В. А. Кузьмичев. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 70 с.
2. Фисенко, В. Г. Проектирование вентильных индукторных двигателей / В. Г. Фисенко, А. Н. Попов. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 56 с.

УДК 621.59

### **АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ**

**А. В. Овсянник, М. Н. Новиков, Ю. А. Степанишина**

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

Системы искусственного охлаждения и кондиционирования являются одними из крупнейших потребителей электроэнергии, поэтому повышение энергетической эффективности холодильного оборудования является актуальной задачей. В связи с этим важное значение приобретает разработка новых эффективных теплообменных аппаратов, в частности конденсаторов и усовершенствование конструкций существующих, так как интенсификация теплообмена в конденсационных устройствах определяет массогабаритные, технические и экономические характеристики холодильных и теплонасосных установок.

Особое внимание в последнее время уделяется проблеме глобального потепления, в связи с чем актуальными являются исследования процесса конденсации озонобезопасных хладагентов.

Целью данного исследования является анализ экологических, термодинамических, эксплуатационных и экономических характеристик альтернативных смесевых хладагентов и определение наиболее эффективных способов интенсификации процесса их конденсации в различных условиях.

На начальном этапе был проведен сравнительный анализ физических свойств традиционных и альтернативных хладагентов (R12, R22, R134a, R404a, R407c, R410a, R502), соответствующих рабочему интервалу температур и давлений используемому в холодильной технике и теплонасосных технологиях. Рассмотрен имеющийся практический опыт применения альтернативных хладагентов, а также их энергетические и эксплуатационные характеристики. Как наиболее перспективные хладагенты для дальнейших экспериментальных исследований были определены R404a, R407c, R410a.

Следующим шагом исследования являлся анализ экспериментальных данных по конденсации альтернативных хладагентов. При рассмотрении имеющихся литературных данных было определено:

– количество опубликованных работ по конденсации альтернативных хладагентов крайне ограничено. Чаще всего исследования содержат результаты экспериментов для одного рабочего вещества, одной геометрии поверхности, что не позволяет сделать достоверный количественный анализ влияния свойств хладагентов на интенсивность процесса конденсации;

– известные экспериментальные работы не содержат данных, необходимых для практического использования полученных результатов. В первую очередь, это относится к геометрическим характеристикам поверхности, которые приводятся не полностью или не приводятся вообще;

– в настоящее время в литературе отсутствуют достаточно надежные и апробированные расчетные методики, пригодные для инженерного расчета конденсаторов с озонобезопасными хладагентами, которые позволили бы качественно оценить и выбрать рациональный способ интенсификации процесса конденсации.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод. Экспериментальное исследование процесса конденсации озонобезопасных альтернативных хладагентов на развитых поверхностях является актуальной задачей, решение которой позволит улучшить экологические и массогабаритные характеристики теплообменников холодильных и теплонасосных установок.

УДК 621.311

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**Ю. Н. Колесник, А. В. Кучерявенко**

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

В настоящее время большинство предприятий, функционирующих на территории Республики Беларусь, были введены в эксплуатацию еще во время СССР. Ввиду этого оборудование к данному моменту либо устарело, либо имеет малый остаточный ресурс, так как эксплуатируется уже более 20 лет. Кроме того, следует учитывать и то, что оборудование часто недогружено и работает с изменяющейся производительностью. Следовательно, модернизация этих агрегатов может дать энергосберегающий эффект.

Основной целью данной работы является комплексная оценка эффективности различных вариантов модернизации высоковольтных технологических агрегатов.

В качестве путей решения проблемы может быть предложено не менее четырех вариантов модернизации, направленной на повышение энергоэффективности:



1) установить к существующему электродвигателю высоковольтный частотный преобразователь;

2) заменить высоковольтный агрегат на современный с установкой высоковольтного частотного преобразователя;

3) заменить высоковольтный агрегат агрегатом напряжением 0,4 кВ и установить частотный преобразователь напряжением 0,4 кВ;

4) заменить высоковольтный агрегат на агрегат напряжением 0,4 кВ и установить частотный преобразователь напряжением 0,4 кВ. В этом случае может потребоваться установка трансформаторной подстанции, где целесообразно применять современные энергоэффективные трансформаторы (например, типа ТМГ12, ТМГМШ).

В целях принятия наиболее эффективных решений авторами разрабатывается «Программно-вычислительный комплекс для оценки эффективности модернизации высоковольтных электроприемников». Комплекс состоит из расчетного (включает алгоритмы расчетов) и справочного (включает базы данных об оборудовании) блоков.

При рассмотрении различных вариантов решаются следующие задачи:

– анализ технического состояния, энергетических характеристик и режимов работы высоковольтных электроприемников;

– разработка различных вариантов энергосберегающих мероприятий по модернизации высоковольтных электроприемников;

– энергетическая оценка эффективности предлагаемых энергосберегающих мероприятий;

– экономическое обоснование эффективности предложенных энергосберегающих мероприятий и выбор наилучшего из них.

Пользователю необходимо ввести данные модернизируемого агрегата. Далее выполняются расчеты показателей энергетической и экономической эффективности по альтернативным вариантам. В частности, определяются экономия электроэнергии, сроки окупаемости затрат, чистый дисконтированный доход, индекс доходности.

На данном этапе исследования проводятся на ОАО «Гомельский химический завод». При этом установлена высокая эффективность модернизации высоковольтного агрегата мельничного вентилятора в цехе сложно-смешанных минеральных удобрений.

УДК 628.94

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ**

**Е. В. Соболев, Е. Н. Подденежный**

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

Светодиодный модуль (СДМ) представляет собой устройство, которое может быть использовано как источник света в осветительном приборе (ОП), либо в качестве самостоятельного ОП в осветительной установке (ОУ). Требуемое светораспределение в первом случае формируется взаимодействием излучения СДМ с оптической системой ОП, т. е. может рассматриваться задача светораспределения в ближней зоне (БЗ); во втором – оптическими компонентами СДМ и (или) позиционированием светодиодов (СД) в СДМ, может решаться задача как дальней зоны (общее равномерное освещение), так и ближней (архитектурно-художественное, местное, рекламное освещение и пр.). Следовательно, при проектировании как ОП, так и ОУ с использованием СД имеется необходимость расчета светораспределения в БЗ, заключающаяся в расчете распределения освещенности по заданной произвольной поверхности.

Моделирование распределения освещенности площадки в БЗ осуществляется в два этапа: 1) расчет фотометрического тела яркости (ФТЯ) СДМ; 2) расчет распределения освещенности площадки.

Рассмотрены два варианта представления ФТЯ СДМ: 1) в виде совокупности ФТЯ эквивалентных геометрических заместителей (ЭГЗ) элементарных излучателей (ЭИ) модуля; 2) в виде ФТЯ ЭГЗ модуля. Первый подход целесообразно использовать при необходимости учета характеристик материала поверхности, на которой установлены ЭИ СДМ. Второй подход описывает поле яркости СДМ в общем виде, для чего на поверхности ЭГЗ модуля выделяется массив точек, в каждой из которых определяется пространственное распределение яркости, создаваемое СДМ. Предложено объединение распределения яркости ЭИ в пучки лучей с регулярной сеткой углов, что в значительной степени упрощает расчет при сохранении заданной точности. С целью систематизации информации по светотехническим характеристикам светодиодных ОП рассчитаны яркостные характеристики СД в зависимости от формы ЭГЗ светящей части СД, а также разработан новый формат фотометрических данных (\*.lbf – Luminance Body Format), являющийся электронным эквивалентом ФТЯ.

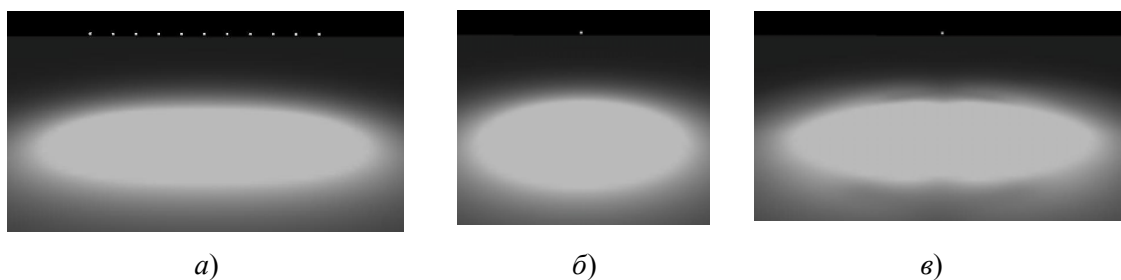


Рис. 1. Распределение освещенности в БЗ:  
а – линейного СДМ 11хСД; б – точечной модели СДМ;  
в – точечной эквивалентной модели СДМ

На этапе расчета распределения освещенности произвольной площадки разработана методика моделирования, основанная на обратном пересчете распределения освещенности от ФТЯ СДМ к эквивалентному точечному источнику. Методика позволяет устранить ошибки моделирования распределения освещенности в БЗ при точечном представлении СДМ (рис. 1).

УДК 658.26:621.31

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

А. В. Дробов, В. Н. Галушко

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

Целью данной работы является создание программно-статистического инструментария для проверки отчетности, создания обоснованных норм электропотребления и процедур прогнозирования в условиях неопределенности и риска. Основным результатом является повышение эффективности использования электроэнергии на предприятиях машиностроения.

Структура программно-статистического инструментария включает в себя несколько элементов (рис. 1).



Рис. 1. Структура программно-статистического инструментария норм электропотребления

Рассмотрим каждый из этапов программно-статистического инструментария более подробно.

Применение программных пакетов электрического моделирования (Multisim, OrCad, Simulink) всех элементов систем электроснабжения по отдельности и в комплексе с целью проверки существующих результатов энергопотребления и прогнозирования изменения электропотребления при внедрении мероприятий по экономии электроэнергии. По результатам верификации и апробации моделей цехов и целых предприятий создается библиотека шаблонов, с помощью которой исследователю не требуется заново создавать рабочий прототип, а лишь составить свою схему. На данном этапе проводились приборные эксперименты по анализу влияния различных факторов (отклонения напряжения и частоты) на электропотребление (активная и реактивная мощности, гармонический состав, несинусоидальность и несимметрия тока и т. д.) для нового оборудования, рекомендованного при проведении энергоаудита на предприятиях машиностроения.

УДК 628.93

## ПРИМЕНЕНИЕ СУМЕРЕЧНОЙ ФОТОМЕТРИИ В РАСЧЕТАХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Т. В. Алферова, О. А. Полозова, А. В. Засименко

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

Цель работы – освещение проблем, связанных с оценкой уровня освещенности в условиях сумеречного зрения, и поиск путей их решения.

Использование универсальной фотометрической системы (УФС) в расчетах освещения позволяет оценить энергоэффективность и световую отдачу того или иного источника света в условиях мезопического зрения.

Данная методика вводит коэффициент S/P (scotopic/photopic ratio), который представляет собой отношение светового потока источника света, определенного в

условиях ночного зрения  $V'(\lambda)$ , к световому потоку этого же источника света, определенному в условиях дневного зрения  $V(\lambda)$ .

Чем выше отношение S/P, тем выше и визуально-эффективный световой поток источника света, который следует использовать при проектировании, осуществляемом применительно к условиям сумеречного зрения.

Значения коэффициента S/P, соответствующие распространенным типам ламп, представлены на рис. 1.

Высоким значением S/P характеризуются современные источники света: индукционные ( $S/P = 1,46\text{--}2,25$ ) и светодиодные лампы ( $S/P = 1,8\text{--}2,5$ ). В то время как НЛВД, которые характеризуются высоким показателем светоотдачи, имеют  $S/P = 0,6$  – это дает основание ставить под сомнение их энергоэффективность в условиях сумеречного зрения.

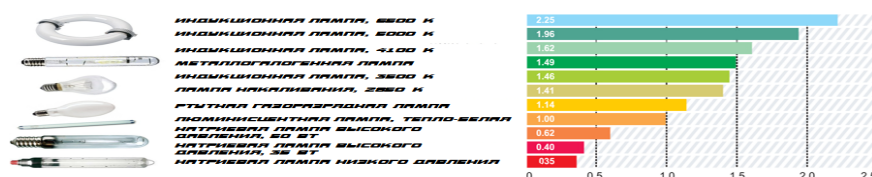


Рис. 1. Коэффициент S/P для различных типов ламп

Приведенные значения S/P следует рассматривать как номинальные, так как отношение S/P не остается постоянным даже в пределах одной группы ламп и зависит от типа лампы, ее мощности и цветовой температуры.

Возможность применения УФС возрастает по мере уменьшения уровня яркости.

Яркости, создаваемые лампами с относительно большим излучением в коротковолновой части спектра ( $S/P > 1$ ), при их измерении с использованием УФС возрастут, а создаваемые лампами с относительно большим излучением в длинноволновой области спектра ( $S/P < 1$ ) – уменьшатся.

Например, при равной  $1 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$  яркости в условиях дневного зрения использование рекомендуемой системы приведет к тому, что для ламп с лежащими в интервале 0,5 – 2,5 значениями S/P величина яркости изменится на от –5 до +15 %, а при  $0,1 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$  это изменение составит от –29 до +49 %.

Область применения УФС включает в себя: наружное освещение; освещение дорог и улиц; освещение больших пространств; складские помещения; водный и воздушный транспорт аварийное освещение; освещение для обеспечения безопасности.

Использование УФС позволяет: по-новому взглянуть на измерение яркости в условиях сумеречного зрения; способствует разработке светотехнических изделий, оптимизированных применительно к условиям мезопического зрения; увеличивает зрительную и энергетическую эффективность установок наружного освещения.

УДК 628.97

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СВЕТОДИОДНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ПТИЧНИКОВ

В. В. Бахмутская, Т. В. Алферова, В. А. Мороз

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

Свет оказывает особое влияние на продуктивность и поведение птиц. Большое значение имеет спектральный состав используемых светильников, отсутствие резких

перепадов освещенности. Экспериментально подтверждено, что применение плавного регулирования освещенности, имитирующего восход и закат солнца, значительно снижает стрессовое состояние птицы, возникающее при резких изменениях освещенности. Использование современных систем освещения позволяет увеличить объемы и качество продукции птицеводства, при одновременном снижении затрат на корма, воду и общих затрат на эксплуатацию.

В настоящее время энергосберегающее освещение для птицефабрик развивается по трем направлениям: применение компактных люминесцентных ламп, линейных люминесцентных ламп и светильников на основе светодиодов. Каждое из направлений имеет определенные преимущества и недостатки, а также различные перспективы на ближайшие годы.

Наиболее перспективным решением в плане освещения птичников является применение светодиодного освещения. Внедрение светодиодной системы позволит создать оптимальное освещение внутри клетки, добиться требуемого уровня освещенности кормушек и поилок, а также реализовать зоны комфорта внутри клетки.

Преимущества светодиодных установок для освещения птицеводческих комплексов:

- экономия электроэнергии;
- увеличение сохранности поголовья птицы;
- создание условий для повышения продуктивных показателей за счет локальности освещения и реализации сложных режимов прерывистого освещения;
- отсутствие замены ламп – низкая стоимость владения;
- электро- и пожаробезопасность помещений;
- потребление электроэнергии в 10–15 раз ниже, чем у ламп накаливания и в 2–3 раза ниже люминесцентных ламп;
- уменьшение затрат на корма в среднем на 10 %.

Светодиодные светильники имеют определенные длины волн излучения. Включают в себя систему управления освещением на основе широтно-импульсной модуляции, обеспечивающей автоматическое и ручное регулирование включения и выключения света с имитацией «восхода» и «заката» солнца. Предоставляют возможность использовать новые способы освещения при содержании в клетках и на полу ремонтного молодняка, цыплят-бройлеров, кур промышленного стада, кур и петухов родительского и племенного стада яичных и мясных кроссов.

Применение светодиодного освещения позволяет повысить сохранность поголовья на 2,8–5,9 %, живую массу – на 2,0–2,5 %, яйценоскость на начальную и среднюю несущую – на 9,8–11,9 и 9,1–14,0 %, массу яиц – на 1,9–2,9 %, выход инкубационных яиц – на 0,8–3,2 %, оплодотворенность яиц – на 2,0–2,7 %, вывод цыплят – на 1,6–2,0 % при снижении расхода корма на единицу продукции и электроэнергии на освещение в 3–10 раз. С учетом тенденции постоянного роста стоимости электроэнергии, а также увеличения объемов и качества продукции, внедрение энергосберегающего светодиодного освещения окупится в течение 1–2,1 лет.

## СЕКЦИЯ Е. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 338.33:65.5

### ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАК СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**И. В. Бабына**

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

Принятие решений об организации современного машиностроительного производства требует ответа на вопрос о необходимости и целесообразности дальнейшей диверсификации производственной деятельности. Для этих целей предлагается использовать методический инструментарий оценки уровня и эффективности диверсификации производства, включающий в себя исследование направлений диверсификации производства и сбыта, оценку уровня продуктовой диверсификации на основе расчета индексов Херфиндаля–Хиршмана и Энтропии и выявление причинно-следственных зависимостей между уровнем диверсификации производства и показателями его функционирования на основе корреляционного анализа, что позволяет определить виды синергетических эффектов, полученных в условиях диверсифицированного производства.

Продукция ОАО «Мозырский машиностроительный завод» относится к рынку спецтехники, который в соответствии с номенклатурой можно подразделить на рынок гусеничных тракторов; рынок лесохозяйственной техники; рынок фронтальных погрузчиков на базе тракторов «БЕЛАРУС» и погрузочного оборудования; рынок прочей спецтехники, агрегируемой с тракторами «БЕЛАРУС».

Анализ продуктового портфеля предприятия на основании матрицы БКГ показал, что все виды продукции находятся на разных этапах жизненного цикла, что свидетельствует об относительной сбалансированности товарного ассортимента. Однако в портфеле отсутствуют новые товары, обладающие потенциалом роста. Решение этой проблемы связывают с реализацией в настоящее время инвестиционного проекта «Организация производства и реализация гусеничных тракторов».

За 2011–2013 гг. индекс Херфиндаля–Хиршмана уменьшился с 0,84 до 0,733, что свидетельствует о снижении уровня продуктовой диверсификации, однако по-прежнему соответствует его высокому уровню. Индекс Энтропии также имеет тенденцию к снижению с 2,27 до 2,15, что означает некоторое сокращение количества выпускаемых видов продукции при сохранении высокого уровня производственной диверсификации.

Анализ причинно-следственных связей показал, что при увеличении (снижении) коэффициента продуктовой диверсификации показатели рентабельности, коэффициент текущей ликвидности имеют тенденцию увеличения (снижения); при увеличении (снижении) коэффициента продуктовой диверсификации материалоемкость и затраты на 1 р. продукции снижаются (увеличиваются). Ввиду снижения коэффициента продуктовой диверсификации в ОАО «Мозырский машиностроительный завод» ни один из синергетических эффектов предприятием в полном объеме получен не был. Однако выявленные зависимости свидетельствуют, что при увели-

чении уровня диверсификации производства синергетические эффекты в виде увеличения доходов и снижения затрат на 1 р. продукции будут обеспечены. Основной причиной снижения уровня продуктовой диверсификации в ОАО «Мозырский машиностроительный завод» является снижение затрат на разработку новой продукции и доли персонала, занятого научными разработками.

Таким образом, все результаты исследования говорят о необходимости дальнейшей диверсификации производства путем активного инвестирования в расширение производственной базы и развитие сбытовой сети.

УДК 338.121

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Т. В. Карпей, Чэн Цилян

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

Современное предприятие, функционируя в сложной общественно-экономической среде, должно постоянно создавать и внедрять различного рода инновации (продуктовые, процессные), обеспечивающие его эффективность в рыночной экономике. При создании новой продукции зарубежные экономисты рекомендуют ориентироваться на вероятность коммерческого успеха идей в 2,5 %. Отечественные исследования показывают, что вероятность того, что новая идея превратится в коммерческий успех, составляет всего 1 %.

Характеризуя особенности развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь, многие аналитики отмечают его высокую экспортозависимость. Внутриреспубликанские поставки составляли не более 3–5 % продукции сельхозмашиностроения, 7–10 % автомобилестроения, до 15 % приборостроения. Поставки на внешние рынки не превышали в среднем 10 % объемов производства.

В настоящее время происходит наращивание выпуска экспорториентированной продукции (сельскохозяйственных машин, автобусов, грузовых автомобилей), что позволило машиностроительной отрасли до 2013 г. иметь положительное сальдо во внешнеторговой деятельности. Вот почему прорабатывается комплекс мер по развитию интеграции, вхождению ведущих белорусских машиностроительных производств в межнациональные корпоративные структуры. Все большее внимание уделяется коммерциализации и реструктурированию машиностроительных предприятий (в том числе с привлечением иностранных инвесторов).

Сложившийся экономический климат машиностроительной отрасли в течение последних лет характеризуется неустойчивостью в целом по республике, что не позволяет предприятиям строить смелые планы относительно будущей деятельности. Так, на протяжении многих лет основным видом деятельности ОАО «Гомельский авторемонтный завод» являлись восстановительные и капитальные ремонты пассажирских автобусов «Икарус», «ПАЗ» и «ЛАЗ», а также ремонты двигателей и агрегатов к ним. Предполагая развитие внутреннего рынка продаж пассажирских автобусов и снижение капитальных ремонтов старой техники, завод с 2005 г. начал осуществлять сборку и реализацию автобусов малой вместимости «Богдан», постепенно переходя с «отверточной» сборки из машинокомплектов, приобретаемых в Украине, на собственное производство автобусов, получивших название А092 «Радзіміч».

На протяжении 2009–2010 гг. заводом самостоятельно разработана конструкторская документация на производство нового автобуса III класса ГАРЗ-А421 «Радзіміч» повышенной комфортности, серийное производство которого начато

в 2011 г. С ориентировкой продажи на Россию, в 2012 г. была начата конструкторская разработка к изготовлению прототипа новой модели городского низкопольного автобуса МЗ класса 1 А422 «Радзіміч» на газомоторном топливе, что позволит обеспечить потребности не только внутреннего рынка, но и внешнего.

Магистральный путь развития – новые знания и технологии. Если сегодня не производить конкурентоспособную продукцию с высокой степенью новизны и наукоемкости, с применением современных энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий, завтра будет сложно сохранить достигнутые результаты и завоеванные рыночные позиции и обеспечить экономическую безопасность.

УДК 338.45:621

### **НЕЗАТРАТНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ В РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКЕ**

**В. Ф. Бык**

*Учреждение образования «Белорусский торгово-экономический  
университет потребительской кооперации», г. Гомель*

В Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2010–2015 гг., целью которой является создание конкурентоспособной, инновационной, высокотехнологичной, ресурсо- и энергосберегающей, экологически безопасной экономики, большое внимание уделено мероприятиям, требующим значительных инвестиционных ресурсов. Цель данного исследования привлечь внимание руководителей и специалистов предприятий и организаций машиностроения к незатратным инструментам и методам повышения эффективности и конкурентоспособности производства, основанным на мировоззрении эффективного (просвещенного) менеджмента – концепции «бережливого производства».

«Бережливое производство» – это система, которая непрерывно ищет, распознает и устраняет действия, которые добавляют ценность при разработке, производстве, логистике, поставке продукции и финансовом обороте. Система увеличивает долю действий в производственных, обслуживающих и финансовых процессах, направленных на удовлетворение потребностей покупателей и интересов производителей. Утрату бережливости качественно и количественно характеризует упущенная выгода от простоев оборудования и работников, ошибочных финансовых решений, а также потери от необоснованного залеживания материалов на складах и полуфабрикатов в производственных процессах.

Механизм «бережливого производства» может включать в себя пять базовых инструментов (методов), которые обеспечивают его непрерывное функционирование: система постоянного улучшения производственных и других процессов предприятия с привлечением персонала, занятого на этих процессах – «Кайдзен»; система рационального расположения предметов труда и инструмента – «5S»; система контроля незавершенного производства и запаса готовой продукции – «Канбан»; вытягивающая («тянущая») логистическая система; система контроля качества – «Шесть сигма».

Примеров успешного внедрения принципов «бережливого производства» в Японии, Европе, США, России в настоящее время достаточно. Данный процесс в последние годы активизируется и в Беларуси (Европейская станко-инжиниринговая



компания, г. Минск; концерн «БИАЛ», г. Минск; ПО «Белкоммунмаш», г. Минск; ООО «Руптур», г. Минск и т. д.) В целом предприятия, идущие по пути внедрения принципов и инструментов «бережливого производства», по оценке российских экспертов, при минимальных вложениях добиваются впечатляющих результатов: увеличение производительности труда – до 70 % (по данным американских экспертов – в 1,5 раза), рост качества – до 60 %; высвобождение производственных площадей – до 50 % (по данным американских экспертов – оптимизация использования производственных площадей на 10–25 %), сокращение брака – в среднем на 65 % (по данным американских экспертов – в 2,0 раза), сокращение сроков реализации инвестиционных проектов – до 20 %.

Резюмируя изложенное, можно предложить для отечественных предприятий машиностроительного профиля алгоритм поэтапного (6 этапов) внедрения системы «бережливое производство»: от инициализации и запуска проекта «бережливое производство» через формализацию, анализ, трансформацию, оптимизацию транспортно-технологической схемы материального потока, путем превращения ее в «тянущую» систему», до полного освоения инструментов механизма бережливого производства.

#### Л и т е р а т у р а

1. О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2010–2015 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 26 мая 2011 г. № 669 // Нац. реестр норм. и прав. актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 64. – 5/33864. – С. 14–66.
2. Гусаков, Б. Бережливое производство: механизм и проблемы формирования / Б. Гусаков // Директор. – 2007. – № 12. – С. 36–39.
3. Имаи, М. Гембакайдзен: Путь к снижению затрат и повышению качества / М. Имаи. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2001. – 176 с.
4. Примеры применения бережливого производства. – 2012. – Режим доступа: <http://www.lean-academy.ru/lean/examples.php>. – Дата доступа: 07.09.2014.
5. Хоббс, Д. Перспективы развития бережливого производства в Беларуси / Д. Хоббс. – 2010. – Режим доступа: <http://www.krconsult.org/about/analytics/article/berejlivoe/86.html?print=1>. – Дата доступа: 07.09.2014.

УДК 657.471:621

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ

О. В. Шваякова

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

На современном этапе развития экономики Республики Беларусь ключевое место занимает проблема повышения конкурентоспособности машиностроительной продукции по ценовому фактору.

Анализ формирования стоимости продукции отрасли машиностроения Республики Беларусь показывает, что основными причинами ее высокой величины, по сравнению с зарубежными аналогами, являются: использование в производственном процессе устаревшего оборудования и технологий, низкий уровень организации производства. Причем если влияние на размер затрат использования в производственном процессе устаревшего оборудования и технологий прослеживается явно и четко, то недостатки в организации производства зачастую попросту не принимаются в расчет.

На практике достаточно часто встречается ситуация, когда с целью повышения рентабельности производства на предприятиях с единичной формой организации (авто-, мотороремонтные заводы) изменяются номенклатура и объемы выпускаемой продукции, которые предполагают уход от единичной формы в сторону серийной или поточной. Как правило, в этих случаях в расчет не принимается необходимость одновременно со сменой номенклатуры и объемов изменения метода организации производственного процесса. В результате на таких предприятиях пренебрегают полным описанием технологического процесса изготовления продукции; используют универсальное (с более низкой производительностью, чем специальное) дорогостоящее оборудование и высококвалифицированных рабочих на низкоразрядных операциях; вместо поддетальной или комплектной системы планирования применяют позаказную, с единственным календарно-плановым нормативом – срок сдачи готовой продукции.

Соответственно, как минимум, затраты, вызванные низкой степенью параллельности, непрерывности и прямоочности, можно считать непроизводительными и рассматривать их в качестве резерва снижения себестоимости продукции. Отдельное внимание стоит уделить размеру фонда оплаты труда на таких предприятиях, так как его величину ожидаемо можно отнести к неоправданно высокой за счет высокого удельного веса ручного труда с использованием универсальных механизмов и оснастки; оплаты высококвалифицированного труда на низкоразрядных операциях; неизбежного возникновения «продленок» и работы в выходные дни. Расчеты показывают, что уход от единичной в сторону хотя бы серийной формы организации позволит сократить затраты на производство продукции приблизительно на 5–9 %.

Таким образом, затраты на производство машиностроительной продукции, обусловленные недостатками в организации производства, можно классифицировать как неявные и непроизводительные. При управлении затратами на производство данные издержки могут стать основным резервом снижения себестоимости, позволить провести оптимизацию затрат машиностроительного производства, а следовательно, повысить конкурентоспособность продукции по ценовому фактору.

УДК 630\*9

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ МАШИНОЙ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ С УЧЕТОМ МИРОВОГО ОПЫТА**

**О. В. Лапицкая**

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

В настоящее время организация заготовки древесины в лесах Беларуси осуществляется по трем основным направлениям: продажа леса на корню; заготовка силами лесхозов и лесничеств; работа на услугах сторонних организаций.

Продажа леса на корню в настоящее время себя практически изжила, так как она не стимулирует производителей древесины (лесхозы) в силу низких отпускных цен на лес на корню и невысоких доходов лесхозов от этого вида продаж.

Основным видом заготовки древесины в настоящее время является заготовка силами лесхозов и лесничеств. За последние несколько лет здесь широко применяются многооперационные машины: харвестеры и форвардеры. До 2006 г. эти машины закупались за рубежом. В настоящее время наши предприятия (Амкодор, МТЗ)

освоили выпуск подобной техники. Разработано 17 моделей подобных машин. Благодаря этому в 2013 г. объем заготовки древесины силами лесхозов значительно возрос и составил 11 млн м<sup>3</sup>. При этом доля машинной заготовки здесь достигла 34 %. Лесхозы в настоящее время имеют 170 харвестеров, 240 форвардеров, 1140 погрузочно-транспортных машин и 543 сортиментовоза «МАЗ». Если первые образцы этой техники были несовершенны, то в настоящее время она вполне конкурентоспособна (активно продается в России) и состоит в основном из белорусских комплектующих, только режущая головка приобретается по импорту.

В то же время заготовка древесины ложится тяжелым бременем на лесоводов (лесничих, мастеров леса, лесников), отвлекая их от выполнения работ по восстановлению лесов, их охране и защите и оптимизации выращивания будущих насаждений. За рубежом (Польша, Литва, Финляндия и др.) организацией и производством древесины занимаются в основном специализированные фирмы, обладающие современной техникой. Лесоводы осуществляют лишь подготовку лесосечного фонда и приемку работ, уделяя особое внимание соблюдению лесозаготовителями экологических требований. Такая организация заготовки древесины «на услугах» имеется и в Беларуси, но развита недостаточно. Опыт подобной организации производства имеется в Буда-Кошелевском лесхозе, где В. В. Зеленский организовал заготовку древесины на услугах. Лесоводы при этом избавились от необходимости закупать технику, следить за соблюдением правил охраны труда (это все обязанности лесозаготовителя), а смогли строго контролировать выполнение лесоводственных и экологических требований. Рентабельность здесь доходила до 50 %.

Нам представляется, что подобный способ организации заготовок древесины «на услугах» является перспективным, хотя и не без проблем. В Беларуси пока только концерн Беллесбумпром обладает достаточной производственной базой для организации машинной заготовки. Частные лесозаготовители пока не имеют в достаточном количестве харвестеров и форвардеров. Решение этой задачи – оснащение частных заготовителей современной техникой (за счет льготных кредитов и т. п.) и перевод значительной части лесозаготовок на услуги повысит рентабельность работы лесхозов и позволит лесоводам более эффективно выполнять свои основные задачи – выращивать высокопродуктивные леса.

УДК 001.895+330.341.1

## **ПОКАЗАТЕЛИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Л. М. Лапицкая**

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

**Я. В. Емельянченко**

*Гомельский филиал учреждения образования Федерации профсоюзов  
в Беларуси «Международный университет «МИТСО»*

С 2000 г. в Республике Беларусь начала осуществляться планомерная работа по активизации инновационного потенциала страны. За последнее десятилетие была проделана огромная работа по формированию и развитию национальной инновационной системы. Инновационный путь развития стал для Республики Беларусь не только технолого-экономическим, но и политическим лозунгом. Ведь усиление ин-

новационной составляющей экономического развития на современном этапе является предпосылкой для эффективного вхождения республики в мировую экономику, в число высокоразвитых стран с экономикой, основанной на знаниях.

Показатели, характеризующие степень инновационного развития страны, были закреплены Государственной программой инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 гг. [1].

Согласно разработанной в Республике Беларусь системе показателей инновационной деятельности результаты данной деятельности принято анализировать по трем основным показателям, представленным на рис. 1.

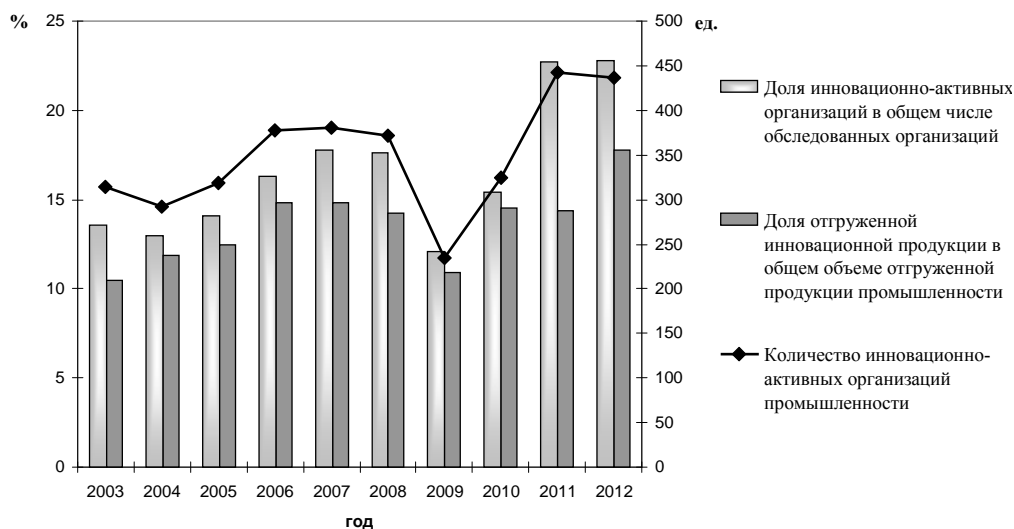


Рис. 1. Показатели инновационной деятельности Республики Беларусь за 2003–2012 гг.

*Примечание.* Разработано автором на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь и Государственного комитета по науке и технологиям [2], [3].

Как видно из данных, представленных на рис. 1, в Беларуси наблюдается увеличение числа и значимости инновационных организаций. В то же время количество таких организаций изначально было невелико: в 2003 г. их было всего 314. Значительный рост данного показателя отмечается за последние два года, и в 2012 г. насчитывалось уже 437 инновационно-активных организаций промышленности. При этом отмечается и одновременное увеличение доли инновационно-активных организаций в общем числе обследованных организаций республики.

УДК 333.103.1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ «5S» ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. К. Ландова

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

В современных условиях хозяйствования для большинства белорусских предприятий главным условием выживания становится повышение конкурентоспособно-

сти продукции. Важную роль здесь играет уменьшение себестоимости продукции, чему способствует, в частности, рациональная организация труда. Разумеется, развитие предприятий невозможно без технического перевооружения, использования современных технологий, создания принципиально новой, востребованной потребителем продукции. Но было бы ошибкой сводить все перемены внутри предприятия только к обновлению техники и технологии, необходима также адекватная организация рабочих мест. В связи с этим на предприятиях Республики Беларусь следует внедрять долгосрочную программу «Бережливое предприятие», которая направлена на решение комплексных проблем, существующих на производстве, т. е. организацию процессов, при которых требуется меньше площадей, материалов, времени и трудовых затрат на всех стадиях производственного цикла. Другими словами, это система мероприятий по сокращению потерь и фундаментальный залог успеха для достижения высоких результатов во всех направлениях деятельности. Первым шагом на пути к созданию «Бережливого предприятия» и применению других инструментов программы является система рациональной организации рабочих мест – 5S. Это метод организации рабочего места, который позволяет значительно повысить эффективность и управляемость операционной зоны, улучшить корпоративную культуру, повысить производительность труда и сохранить время. Данная система позволяет практически без капитальных затрат наводить порядок на производстве: кроме повышения производительности труда, сокращаются потери, снижается уровень брака и травматизма. Кроме того, создаются необходимые стартовые условия для реализации сложных и дорогостоящих производственных и организационных инноваций, обеспечивается их высокая эффективность – в первую очередь, за счет радикального изменения отношения работников к своему делу. Система дисциплинирует всех вовлеченных в процесс работников, начиная от рабочих и заканчивая руководителями. Каждый работник может стать инициатором изменений к лучшему на своем производственном участке и тем самым повысить эффективность работы предприятия в целом. Внедрение системы 5S позволит справиться с такими проблемами, как: избыток материалов, необходимых для текущей деятельности; потери времени на ожидание при транспортировке предметов; потери времени на поиски нужных предметов; потери времени при совершении лишних движений из-за неправильного расположения оборудования и материалов. Для апробирования данной программы необходимо обучить персонал методам и принципам внедрения инструментов «Бережливого предприятия» и выбрать какой-то пилотный участок, который позволит дать возможность каждому работнику проявить инициативу и творческое начало в организации рабочего места и порядка выполнения работы с последующим вовлечением в реализацию программы всего производственного процесса. Применение системы 5S на предприятиях Республики Беларусь без сомнения позволит достичь высоких результатов в работе и даст возможность каждому сотруднику повысить уровень своей эффективности.

#### Л и т е р а т у р а

1. Информационно-логистическая инфраструктура рынков товаров и услуг. Государственное регулирование. Методы, технологии и инструменты : монография / А. В. Брыкин, В. В. Голубовская, В. А. Шумаев ; под общ. ред. А. В. Брыкина. – М. : Экон. газ., 2012. – 288 с.
2. Создание информационных систем управления интегрированными предприятиями : монография / М. И. Дли [и др.]. – М. : Экон. газ., 2013. – 172 с.

УДК 338.45

## ЭВОЛЮЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ И КОНЦЕПЦИЙ РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Н. П. Драгун, И. В. Ивановская

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

Необходимость поддержания конкурентоспособности машиностроительной отрасли Беларуси требует рассмотрения эволюции ключевых производственных факторов и концепций роста производительности труда, представленных в таблице.

### Эволюция ключевых производственных факторов и концепций роста производительности труда в машиностроении

Этап / период	Область действия фактора		
	Организация производства	Организация труда	Организация управления
1. Конец 18–начало 19 вв.	Разделение, специализация, механизация труда		–
2. Конец 19–начало 20 вв.	Массовое и поточное производство	Научная организация, нормирование и стандартизация рабочих процессов	Обоснованный подбор и профессиональное обучение работников. Стимулирование труда на основе оценки его результатов
3. 50–70-е гг. 20 в.	TQM (непрерывное улучшение продукции, процессов, персонала, новаторство, взаимодействие подразделений – командный подход). Шесть сигм и статистические методы управления качеством. Бережливое производство – Toyota Production System, TPS (исключение операций и процессов, не создающих ценности для потребителя – перепроизводство, ожидание обработки, ненужная транспортировка и перемещение, лишние запасы, этапы обработки, брак, перегрузка работников и ПМ, прерывистый график работ и др.). Кайдзен (повышение возможностей операционных процессов)		
	Канбан. Total Productive Maintenance (TPM). Быстрая переналадка (Single-Minute Exchange of Dies (SMED)). Защита от дурака	5S (рационализация рабочего места)	Исследование операций
4. 80–90-е гг. 20 в.	Автоматизация и компьютеризация производства		Реинжиниринг бизнес-процессов. Теория ограничений (Theory of Constraints, TOC). Сбалансированная система показателей
5. 2000-е гг.	Электронный бизнес (компьютеризация производства, интернет-технологии, информационные системы и др.). Интернационализация производства		

Окончание табл.

Этап / период	Область действия фактора		
	Организация производства	Организация труда	Организация управления
	Аутсорсинг производственных процессов	Аутстаффинг, лизинг персонала. Прекаризация (подрядная работа, занятость на неполное рабочее время, работа по вызову и т. д.)	Инновационное предпринимательство. Рефрейминг организаций. Аутсорсинг управленческих процессов

Таким образом, у менеджмента отечественных машиностроительных предприятий имеется достаточное количество пока не в полной мере используемых возможностей роста производительности труда, прежде всего на основе внедрения методов управления качеством и бережливого производства, его автоматизации и интернационализации, аутсорсинга и аутстаффинга, инновационного предпринимательства.

УДК 658.26

## УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Н. В. Пархоменко**

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

Одним из направлений обеспечения конкурентоспособности и устойчивости развития экономики Республики Беларусь является повышение энергоэффективности, что особенно актуально для предприятий машиностроения, где производство продукции отличается высокой энергоемкостью. На уровне субъектов хозяйствования ключевая роль в решении названной задачи принадлежит энергетическим службам, осуществляющим разработку и внедрение энергосберегающих мероприятий.

Исследование показало, что в условиях динамично развивающихся технологий повышение энергоэффективности организаций возможно не только за счет инженерно-технических и технологических мер, но и на основе совершенствования управленческих технологий, составляющих суть энергетического менеджмента. Как свидетельствует мировая практика, разработка и внедрение систем энергетического менеджмента на основе международного стандарта ISO 50001 позволяет не только уменьшить текущее энергопотребление (в пределах 5–23 и 18–39 %, соответственно, электрической и тепловой энергии), но и создать долгосрочные конкурентные преимущества в условиях энергетического рынка.

На машиностроительных предприятиях Республики Беларусь разработка и внедрение систем энергоменеджмента сегодня находится на начальной стадии, однако необходимые нормативно-правовые условия для этого уже созданы. Так, с 1 сентября 2013 г. постановлением Госстандарта Республики Беларусь введен в действие соответствующий государственный стандарт – СТБ ISO 50001–2013 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению», идентичный международному стандарту ISO 50001:2011 «Energy management systems – Requirements with guidance for use». Его структура является привычной для специалистов в области

системного менеджмента и обеспечивает широкие возможности для интеграции с другими системами (менеджмента качества, управления охраной труда и т. д.).

В отличие от традиционных подходов к организации энергетического хозяйства, энергоменеджмент предприятия ориентирован на перестройку системы планирования и управления энергопотреблением с выполнением не только административно-управленческих, но и аналитических процедур, входящих в зону контроля специализированных подразделений энергоменеджмента, работающих в тесном взаимодействии с высшим руководством предприятия. Кроме того, с позиций энергоменеджмента, простая экономия является лишь началом системных управленческих мероприятий, связанных с выявлением возможностей экономии и установлением систем, где использование этих возможностей является целесообразным.

Разработка, внедрение и сертификация систем энергоменеджмента позволит отечественным машиностроительным предприятиям получить ряд преимуществ, в том числе внутренних (повышение энергоэффективности и общей управляемости, снижение производственных затрат и рост доходов, оптимизация бизнес-процессов и др.) и внешних (гарантии инвестирования энергосберегающих проектов, улучшение имиджа на основе демонстрации партнерам и общественности выполнения энергетической политики, повышение конкурентоспособности продукции и самого предприятия на внутреннем и внешнем рынках).

УДК 351.84+364.322

## **ПРОБЛЕМЫ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ И УСТАНОВЛЕНИЯ СТРАХОВЫХ ТАРИФОВ**

**Н. А. Алексеенко**

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

Применяемый в настоящее время *сугубо финансовый метод при определении классов профессиональных рисков и установления страховых тарифов на этой основе*, учитывающий вероятностную природу несчастных случаев и профессиональных заболеваний, только косвенным методом на основе фактических затрат страдает неполнотой выявляемых страховых случаев. Использование механизма досрочных пенсий консервирует неблагоприятные производственные условия, блокируя развитие методов оценки профессиональных рисков и экспертизы утраты профессиональной трудоспособности. В итоге это привело к крайне низкой выявляемости случаев профессиональных заболеваний в Республике Беларусь. По данным специалистов Международной организации труда, ежегодная смертность в 15 странах Евросоюза составляет 120 тыс. смертей по причине связанных с работой заболеваний, по сравнению с 6 тыс. смертельных несчастных случаев на производстве. Данная пропорция 20 к 1 применительно к Республике Беларусь, когда за 2011 г. зарегистрировано 169 несчастных случаев с летальным исходом, означает, что в стране умирает примерно 3380 человек по причинам, связанным с производственно обусловленными заболеваниями. По данным экспертов Всемирного банка и ВОЗ, примерно 5 % болезней связано с трудовой деятельностью в странах с установившейся рыночной экономикой. Работники старше 55 лет чаще сталкиваются с проблемами, связанными со здоровьем. В промышленно развитых странах ежегодно 40 % всех случаев выхода на пенсию (1 % от общей численности занятых) происходит вследствие утраты



трудоспособности, которая сокращает трудовую жизнь примерно на 10 лет. Данное влияние имеет масштабные отрицательные последствия. Среднее понижение пенсионного возраста вследствие этого фактора составляет около 5 лет, с 65 до 60 лет, что составляет 14 % трудоспособной жизни. Метод «усредненного страхового тарифа» для всей совокупности работников предприятий на основе их отнесения к виду экономической деятельности не учитывает фактических уровней профессионального риска в его непосредственном социальном и экономическом выражении с позиции повреждения здоровья и утраты трудоспособности. Например, не применяются методы вероятности наступления и тяжесть последствий страховых случаев на протяжении жизни застрахованного работника. Тем самым фактически применяемые страховые механизмы оценки последствий профессиональных рисков носят характер усеченного (неполного) по масштабу страхового события, что и служит основным препятствием для выявления истинной картины утраты профессиональной трудоспособности в стране. При этом социальное страхование использует статистику производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, которую накапливают медицина и охрана труда, но только для решения инструменталистских задач и разработки мероприятий превентивного характера. Утрата профессиональной трудоспособности в связи с длительной работой в производствах с вредными условиями труда требует разработки медицинских, социальных и страховых критериев, правовой базы и соответствующих процедур.

УДК 65.290-2

### **АУТСОРСИНГ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**А. Ф. Надыров**

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

Направления развития предприятий на основе аутсорсинга нашли достаточно широкое освещение в работах зарубежных и отечественных ученых, среди которых — Дж. Брайан Хейвуд, Ж.-Л. Бравар, Р. Морган, Пол Страссман, Б. А. Аникин, В. М. Вайнштейн, Г. Е. Герасимова, Н. А. Евдокимов, Д. В. Михайлов, Л. М. Мишкин, Ф. Н. Филина и др.

Вместе с тем теория аутсорсинга и практика его применения на предприятиях нуждается в дальнейшем развитии. В частности, требуется разработка методов оптимизации и оценки эффективности процессов аутсорсинга.

Единого подхода для количественной оценки эффективности передачи отдельных функций предприятия на аутсорсинг не существует.

Базовыми подходами для оценки эффективности передачи функции на аутсорсинг, по нашему мнению, выступают:

1. Метод сравнения выполнения данной операции внутренними ресурсами предприятия и стоимости аутсорсинга этой услуги.
2. Показатель прироста чистой прибыли.
3. Сокращение численности персонала и соответствующий прирост производительности труда.

При осуществлении аутсорсинга по ремонту сложного энергооборудования на предприятии ОАО «ГЗЛиН», который передается внешнему исполнителю, затраты предприятия на выполнение этих функций снижаются. При этом, однако, образуются дополнительные затраты предприятия на оплату услуг фирмы-аутсорсера.

Фактические годовые затраты предприятия на ремонт энергооборудования, по расчетам, составляют 3289,9 млн р.

Стоимость услуг по ремонту энергооборудования, передаваемого в аутсорсинг, определена по прейскуранту цен белорусской ремонтной организации «Saras-plus», которые адекватны условиям функционирования конкурентного рынка аналогичных услуг по ремонту, и составила 2689,5 млн р.

Экономия денежных средств от передачи данного оборудования в аутсорсинг составила 600,4 млн р.

Таким образом, благодаря передаче ремонта энергооборудования внешней фирме-аутсорсеру предприятие получает дополнительную чистую прибыль, равную 492,3116 млн р., а также в результате сокращения среднесписочной численности ППП на 30 человек среднегодовая выработка работника по произведенной продукции увеличится на 0,6 %.

#### Литература

1. Юрьев, С. В. Аутсорсинг как элемент современных экономических отношений в РФ : монография / С. В. Юрьев. – СПб. : Санкт-Петербург. гос. ун-т сервиса и экономики, 2012. – 165 с.

УДК 338.312

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Е. В. Трейтъякова

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

Достижение высоких темпов экономического развития – одна из актуальных задач, стоящих перед органами управления все уровней. В экономической науке выделяют два типа роста: экстенсивный и интенсивный. Первый тип характеризуется количественным увеличением ресурсов, простым добавлением факторов производства. При втором типе объем производимых благ увеличивается благодаря совершенствованию использования ресурсов на основе активного внедрения достижений науки и техники, прогрессивных форм организации производства и означает повышение производительности.

Решение приоритетной задачи экономического развития Республики Беларусь «обеспечение качественного роста» обозначено правительственными программными документами по средствам интенсификации производства. Это обуславливает проявление новых подходов к трактовке производительности и методики ее оценки.

Согласно классическому определению производительность – это отношение между продукцией, производственной системой и затратами на производство этой продукции [1]. Через производительность оценивается степень использования всех видов ресурсов в количественном и качественном выражении.

В отечественной и зарубежной практике каждый макро- и микроэкономический обзор начинается со сравнения и сопоставления уровней производительности труда. Однако труд не является единственным фактором производства. Он дополняется капиталом, материалами, энергией, информацией для изготовления продукции и оказания услуг. Производительность труда является частью совокупной производительности, которая представляет более развернутый показатель оценки использования ресурсов и экономического развития. Таким образом, на наш взгляд, при оценке производительности необходимо учитывать степень использования трудовых ресурсов и прочих активов, используемых в производстве.

Согласно традиционным методическим подходам производительность труда выражается через показатели выработки или трудоемкости. Выработка определяется отношением объема выработанной продукции (работ, услуг) к произведенным затратам труда. Трудоемкость определяется отношением затрат труда к объему выработанной продукции.

На наш взгляд, при расчете совокупной производительности объем выработанной продукции должен дополняться результатами от вложения всех ресурсов, а затраты труда – затратами всех ресурсов. На основании вышеизложенного основная формула расчета производительности (П) будет выглядеть:

$$П = \frac{\text{объем\_деятельности}}{\text{затраты\_ресурсов}}$$

Для получения высокого уровня совокупной производительности производители должны максимально учитывать условия и требования конкурентной среды рынков товаров, услуг и ресурсов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Минова, Л. Н. Современные тенденции управления производительностью / Л. Н. Минова // Белорус. экон. журн. – 2006. – № 3. – С. 69–79.
2. Ускова, Т. Производительность труда – главный фактор роста экономики / Т. Ускова // Экономист. – 2009. – № 10. – С. 10–17.
3. Фоленжинский, А. Г. Методы измерения и оценка факторов роста производительности труда как важнейший показатель реализации экономической политики / А. Г. Фоленжинский, Н. В. Свиридин // Планово-экон. отд. – 2012. – № 10. – С. 34–44.
4. Режим доступа: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ\\_dict/11742](http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ_dict/11742).

УДК 005.5

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНОГО КОНСАЛТИНГА**

**М. В. Голуб**

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

Промышленное предприятие должно непрерывно совершенствовать все сферы своей деятельности в связи с наличием объективных внешних глобальных процессов, к которым относятся развитие науки и техники, конкуренция. В таких условиях ни одно предприятие не сможет существовать, не внося заметных усовершенствований в свою работу. Прежде всего совершенствуются средства, методы и организация производства, т. е. проводятся освоение новой и модернизация выпускаемой продукции, внедрение в производство новых машин, оборудования, инструмента, новых материалов, использование новых технологий и способов производства продукции.

Техническое перевооружение предприятия или его подразделения – это обновление производственных фондов, при котором происходит замена старой производственной техники и технологии на новую, с более высокими технико-экономическими показателями, без расширения производственной площади. К признакам, отличающим техническое перевооружение от других форм воспроизводства, следует отнести постоянный и непрерывный характер осуществления, обновление преимущественно активной части основных производственных фондов.

Задачи усовершенствования техники и организации производства напрямую связываются с потребностями рынка. Эти вопросы решаются инженерами, маркетологами и экономистами, которые разрабатывают техническую политику. Комплекс

работ по техническому перевооружению предприятия включает в себя технический аудит, поставку инструментов и оборудования, пуско-наладочные работы, обучение персонала, сервисное обслуживание технического комплекса предприятия. Для успешного осуществления поставленных задач на предприятиях разрабатываются комплексные программы технического перевооружения предприятий.

Учитывая, что нужно не только внедрить новую для республики организацию производства и новое для нас оборудование, но и обеспечить загрузку создаваемых производств экспортными заказами, целесообразно для этих целей использовать опыт западных инжиниринговых и консалтинговых фирм. Инженерный консалтинг не может подсказать предприятию, какую продукцию лучше выпускать, так как эти вопросы помогают решить стратегические консультанты. Но когда идея сформулирована, начинаются зоны влияния инженерного консалтинга – от процесса создания опытного образца до выпуска заданной партии продукции в фиксированные сроки с требуемым качеством и приемлемой себестоимостью.

Инженерный консалтинг предлагает перейти от бессистемных закупок нового оборудования к поэтапной реализации плана технического и технологического развития. Инженерный консалтинг работает в тесном контакте со специалистами заказчика, они вместе формируют, адаптируют и документируют технологию для определенной номенклатуры изделий. Заказчик получает новую технологию создания изделия, отработанные организационные моменты. Он получает не только конкретное оборудование, инструмент и программное обеспечение, но и процессы создания изделий на основе современных технологий их производства.

Техническое перевооружение является одним из инструментов практической реализации научно-технического прогресса и способом повышения конкурентоспособности предприятий Республики Беларусь.

УДК 658.7

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИМ СНАБЖЕНИЕМ  
ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕЕ ОБОСНОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ  
ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ МОТОРОРЕМОНТНЫЙ ЗАВОД»**

**О. Г. Борисовец, Н. В. Ермалинская**

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

В рыночных условиях рациональная организация и эффективное управление материально-техническим снабжением (далее – МТС) обуславливают возможности своевременного выполнения производственных планов, снижения себестоимости продукции, повышения ее качества, улучшения финансового состояния предприятия и пр.

Цель исследований – разработка теоретической модели системы управления МТС и ее обоснование на примере ОАО «Гомельский мотороремонтный завод».

По результатам исследования теоретико-методических основ организации и обеспечения эффективного снабжения материально-техническими ресурсами нами разработана модель системы управления МТС предприятия. На этой основе изучена система управления МТС ОАО «Гомельский мотороремонтный завод», проведена оценка и предложены мероприятия по повышению эффективности ее функционирования.

По нашей оценке, структурные элементы теоретической модели системы управления МТС представлены следующими группами: 1) факторы, предопределяющие

структуру службы МТС и особенности управления МТС; 2) управленческие процедуры (цели, задачи, функции МТС, регулирующая документация и пр.); 3) методическая база (экономико-математический инструментарий определения потребности, оптимизации запасов ресурсов, оценки эффективности их использования и пр.); 4) инструменты построения связей с внешней средой (формы поставок, условия заключения договоров и пр.); 5) основное производство (сфера проявления эффекта рациональной организации МТС).

В процессе обоснования элементов системы управления МТС ОАО «Гомельский мотороремонтный завод» нами проанализированы: организационная структура отдела МТС, форма организации управления и связи отдела с другими подразделениями предприятия; приоритетные цели и задачи МТС на предприятии, а также используемая для их реализации документация; источники статистической информации и применяемые методики проведения расчетов; основные поставщики ресурсов, а также сильные и слабые стороны, возможности и угрозы взаимодействия с внешней средой.

Расчеты позволили установить, что эффективность материально-технического снабжения на предприятии снижается. Это отрицательно сказывается на общих результатах деятельности: наблюдается снижение материалоотдачи на 1,17 ед., чистой прибыли на рубль материальных затрат – на 32,14 %; увеличение топливоемкости на 50 %.

По нашей оценке, в данной ситуации перспективными направлениями повышения эффективности функционирования системы управления МТС могут быть: организация бюро оперативного анализа, снижение расхода ТЭР в системе энергоснабжения и обновление используемых в работе отдела МТС программных продуктов. Реализация предложенных мероприятий позволит обеспечить снижение материальных затрат предприятия до 7,5 %, а также увеличение материалоотдачи до 20,8 %.

#### Литература

1. Гребенщиков, А. А. Оптимизация материально-технического снабжения энергетической компании / А. А. Гребенщиков // *Фундамент. исслед. в сфере оптимизации матер.-техн. снабжения энергет. компании.* – 2007. – № 4. – С. 3–4.

УДК 658.562

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО В РАБОТЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. С. Сталович

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

Для решения задач повышения эффективности работы предприятий с успехом могут применяться статистические методы повышения качества. В частности, с их помощью можно прояснить картину материальных потерь. Часто большинство из них обусловлено незначительным числом видов дефектов, вызванных немногими причинами.

Таким образом, выяснив причины появления немногочисленных существенно важных дефектов, можно устранить почти все потери, сосредоточив усилия на ликвидации именно этих причин, приводящих к остальным, менее существенным дефектам.

Для этого используют диаграмму Парето. Различают два вида диаграмм: по результатам деятельности и по причинам.

Диаграмма Парето по результатам деятельности предназначена для выявления основной проблемы, которая вызывает следующие нежелательные результаты деятельности предприятий по следующим направлениям:

– качество – несоответствия, ошибки, рекламации, ремонт, возврат продукции;

- себестоимость – объем потерь, затраты;
- сроки поставок – нехватка запасов, срыв сроков поставок;
- безопасность – несчастные случаи, аварии.

Диаграмма Парето по причинам показывает причины проблем, возникающих в производстве, и используется для выявления главной из них:

- исполнитель работы – смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация;
- оборудование – станки, оснастка, инструменты и т. д.;
- сырье – изготовитель, вид сырья;
- метод работы – условия производства, приемы работы, последовательность операций;
- измерения – точность, воспроизводимость, стабильность.

При систематическом ежемесячном составлении диаграмм Парето для одного и того же процесса и сравнении этих диаграмм в некоторых случаях, несмотря на отсутствие заметных изменений общего количества брака, меняют порядок расположения факторов, влияющих на появление брака. При нарушении стабильности процесса в этом случае нестабильность будет сразу замечена. Если удастся уменьшить влияние этих факторов в одинаковой степени, проявится высокая эффективность улучшения.

После проведения выработанных на основе анализа данных мероприятий обычно проводится повторный анализ с целью оценки эффективности принятых мер. При этом повторяется вся процедура построения диаграммы Парето, и новые результаты сравниваются с данными, полученными ранее.

#### Литература

1. Логанина, В. И. Статистические методы контроля и управления качеством продукции / В. И. Логанина, А. А. Федосеев. – М. : Феникс, 2007. – 224 с.

УДК 331.101.68

## **УСТАНОВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ**

**А. М. Павлов, Ю. В. Савченко**

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

Производительность труда, являясь базовой категорией экономической системы, широко представлена в научных трудах, что не требует дискуссионного углубления в теоретические аспекты ее содержания [1]. Но вместе с тем динамичность экономических процессов периодически заставляет расширять практику влияния производительности труда как на экономику страны, так и на развитие предприятия. Поэтому крайне важно, учитывая современные экономические тенденции, определить ключевые источники воздействия на производительность труда.

Процесс выявления актуальных факторов роста производительности труда на предприятии рассмотрен на примере ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» (далее ОАО «ГЗЛиН») – результаты исследования представлены в таблице.

## Результаты регрессионного анализа (линейная зависимость)

Результативный признак	Факторный признак (коэффициент влияния)			Коэффициент детерминации
1. Пр.	Мз (-0,188)	ФЗП (-2,319)	К (0,739)	0,921
2. Пт (ТП)	Мз (0,149)	ФЗП (0,499)	Ин (0,239)	0,996
3. Пт (ТП)	Зоп (89,349)	ФЗП (0,751)	Рпкв (-8,150)	0,993
4. Пт (ДС)	Зоп (-73,198)	ФЗП (0,475)	Рпкв (-9,464)	0,991
5. Пт (ТП)	Зоп (-45,314)	ФЗП (0,813)	Ин (0,474)	0,994
6. Пт (ДС)	Зоп (-157,680)	ФЗП (0,517)	Ин (0,327)	0,992

*Условные обозначения:* Пр. – прибыль отчетного периода; Пт (ТП), Пт (ДС) – производительность труда по товарной продукции, добавленной стоимости, соответственно; Мз – материальные затраты; ФЗП – фонд заработной платы; К – среднегодовой капитал; Ин – инвестиции в основной капитал; Зоп – затраты на обучение персонала; Рпкв – число работников повысивших квалификацию и прошедших проф. подготовку.

Результаты анализа, представленные в таблице, позволяют сделать следующие выводы (по ОАО «ГЗЛиН»):

– определяющим фактором изменения прибыли (общей производительности) выступает фонд оплаты труда (трудовые ресурсы), но влияние его как фактора производства неудовлетворительное;

– увеличение производительности труда обусловлено количественным изменением фонда оплаты труда и индифферентно интенсивным фактором роста (инвестициями, процессом обучения персонала и материалоемкости);

– потенциальные направления увеличения производительности труда (обеспечения роста степени влияния) – инновационные технологии, основанные на снижении удельных материальных затрат и изменении качества персонала (при оптимизации численности).

## Литература

1. Синк, Д. С. Управление производительностью: планирование, измерение и оценка, контроль и повышение : пер. с англ. / общ. ред. и вступ. ст. В. И. Данилова-Данильяна. – М. : Прогресс, 1989. – 528 с.

УДК 005.5

**BUSINESS MODEL CANVAS КАК ИНСТРУМЕНТ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА  
В ИННОВАЦИОННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ**

**С. Е. Астраханцев**

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

Устойчивый успех организации (ISO 9004–2009) достигается за счет ее способности отвечать потребностям и ожиданиям своих потребителей и других заинтересованных сторон сбалансированным образом на долговременной основе. Устойчивого успеха можно добиться за счет результативного менеджмента организации, путем осознания организацией среды, в которой она существует, а также за счет извлечения уроков и должного применения улучшений и инноваций. Организационное развитие производственных систем зависит от своевременности и обоснованности внесения организационных изменений, полноты и последовательности проведения

изменений, используемых методов при анализе, разработке и внедрении организационных решений, системы управления организационным проектом.

Важнейшей составляющей проектирования производственных систем и их реорганизации является разработка соответствующего организационного проекта. Организационное проектирование должно носить обязательный и предупредительный характер, а не просто обеспечивать совершенствование уровня организации от случая к случаю или только после проведения технических и технологических изменений в производственной системе. Организационное проектирование базируется на теоретических положениях и методах различных наук и достижениях в практике развития действующих предприятий.

*Business Model Canvas* (канва бизнес-модели) – один из инструментов стратегического управления для предпринимателей, который позволяет сделать предварительное описание организационного проекта. Авторами канвы бизнес-модели являются Александр Остервальдер и Ив Пинье.

Business model canvas (далее по тексту ВМС) в первую очередь предназначена для действующих организаций и применяется для разбора существующей бизнес-модели с целью нахождения слабых мест и/или новых точек роста. Девять структурных блоков бизнес-модели формируют основу инструмента.

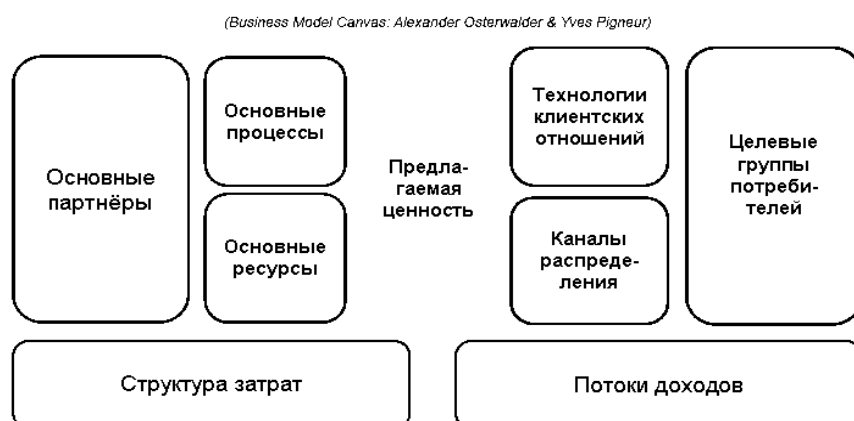


Рис. 1. Business Model Canvas (канва бизнес-модели)

Применение ВМС на этапах диагностики и проектирования организационного проектирования позволит повысить эффективность процесса проектирования и достижение целей проекта.



Научное издание

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ**

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

*Гомель, 23–24 октября 2014 года*

Ответственный за выпуск *Н. Г. Мансурова*

В авторской редакции

Подписано в печать 13.10.14

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 16,27. Уч.-изд. л. 13,42.

Тираж 90 экз. Заказ № 402/129.

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