

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.О. СУХОГО»
ОАО «ОКБ Сухого»**

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

**Тезисы докладов
V Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные Павлу Осиповичу Сухого)**

**Гомель
ГГТУ им. П.О. Сухого
2004**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.О. СУХОГО»
ОАО «ОКБ Сухого»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Тезисы докладов
V Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные Павлу Осиповичу Сухого)
Гомель, 1-2 июля 2004 г.

Гомель
ГГТУ им. П.О. Сухого
2004

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Темис Ю.М.</i> Информационные технологии и математическое моделирование рабочих процессов в деталях и узлах авиационных ГТД	9
<i>Бойко А.А., Подденежный Е.Н.</i> Создание, исследование и применение новых стеклообразных и композиционных материалов на основе золь-гель процесса	10
<i>Луковников В.И.</i> Комплексное диагностирование технического состояния силового роторного энергооборудования	11

СЕКЦИЯ А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

<i>Темис М.Ю.</i> Расчет статических и динамических коэффициентов подшипника скольжения с учетом деформативности его рабочих поверхностей	13
<i>Астахов Э.И., Кудин В.В., Косинский А.Л., Луцко М.Н.</i> Динамическое виброгашение в упругих системах с периодически изменяющейся инерционностью	14
<i>Бусел Б.У.</i> Принципиальные возможности форсирования испытаний трансмиссионных агрегатов сверхтяжелых карьерных самосвалов	15
<i>Сонин Д.А.</i> Оценка динамической нагруженности моторно-осевых подшипников перспективного тепловоза	16
<i>Игнатищев Р.М., Машин Ю.В., Логвинова В.А.</i> Причина и качественное описание питтинг-процесса в зубчатых передачах	17
<i>Никончук А.Н., Петровский А.А., Таяновский А.Г.</i> Технологические аспекты повышения технического уровня зубчато-ременных передач	18
<i>Босаков С.В., Астахов Э.И., Кудин В.В.</i> Определение собственных и вынужденных колебаний виброизолированного фундамента методом конечных элементов	19
<i>Мрочек Ж.А.</i> Определение остаточной деформации при импульсно-силовом вибронакатывании	20
<i>Иванов А.В., Сапун М.М.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния рычага вальцового станка	21
<i>Иванов А.В., Волынская Е.Л., Кошак Ж.В.</i> Система оценки технического состояния мукомольного вальцового станка	23
<i>Бондарь В.С., Данишин В.В., Макаров Д.А.</i> Экспертная система оценки ресурса материала конструкций высоких параметров	24
<i>Ясний П.В., Марущак П.О.</i> Исследование трещиностойкости материалов биметаллического ролика МНЛЗ	25
<i>Кенько В.М., Степанкин И.Н., Шилько С.В., Хиженок В.Ф.</i> Исследование влияния кинетики формирования диффузионных карбидных слоев быстрорежущих сталей на структуру и упругие характеристики слоя	26
<i>Ивашко В.С., В.А. Коваль А.А., Саранцев В.В.</i> Применение активирования поверхности основы и накатки карбидных покрытий, наносимых с использованием тепла экзотермических реакций	27

<i>Пантелеенко Ф.И., Люцко В.А., Петришин Г.В., Соболев В.Ф.</i> Исследование влияния материалов порошков и условий обработки на износостойкость ферромагнитных покрытий	28
<i>Люцко В.А.</i> Исследование работоспособности ферромагнитных покрытий в условиях ударно-абразивного изнашивания	29
<i>Ставров В.П., Наркевич А.Л., Спиглазов А.В., Курсанов Д.А., Пушница А.А.</i> Панели из армированных термопластов, получаемые прессованием пластицированных композиций	30
<i>Карпович О.И., Ставров В.П.</i> Управление процессом газопламенного нагрева при соединении лент из армированных термопластов	31
<i>Гоманькова А.Б., Наркевич А.Л., Ставров В.П.</i> Стержневые элементы конструкций из термопластов, неоднородно армированных непрерывными волокнами	32
<i>Демиденко Е.Н.</i> Исследование влияния давления магнитно-абразивного порошка на обрабатываемую поверхность при магнитно-абразивной обработке	33
<i>Шабловский Я.О., Струкачѳв А.Ю.</i> Электрострикционная деформация и диэлектрический отклик полиморфных монокристаллических материалов в низкочастотных электрических полях	34
<i>Верецагин М.Н., Остриков О.М.</i> Влияние различных энергетических воздействий на гетерогенную пластичность аморфных сложнолегированных сплавов на основе железа	35
<i>Купреев М.П., Комаров В.А., Герасенко Д.Н., Леонович Е.Н., Дробышевская Н.Е.</i> Шлифовальные головки повышенной стойкости для обработки металла	37
<i>Jasaitis D., Leleckaitė A., Kareiva A.</i> Sol-gel Processing ROUTE for the preparation of different lanthanum aluminates	38
<i>Короткевич С.В., Мартыненко С.М., Кравченко В.В., Пармонов М.В.</i> Самоорганизация смазочных слоев при граничном трении	39
<i>Стрикель Н.И., Лискович М.И.</i> Особенности нанесения металлопорошкового покрытия при вытяжке с утонением и без утонения основы	40
<i>Александрова Т.И., Русов В.П., Кенько Л.А., Корецкая Л.С., Крысин А.П.</i> Влияние стабилизаторов на атмосферостойкость полиэтиленовых покрытий деталей машин	41
<i>Тишков Н.И., Винидиктова Н.С., Винидиктов В.М., Слуцкий С.С.</i> Термостабилизация и деградация полимерных покрытий в вакууме	42
<i>Друзик Н.В., Рыженко М.М.</i> Влияние состояния поверхности и количества наполнителей на адгезионную прочность эпоксидных покрытий	43
<i>Валицкия О.М.</i> Тепловая обработка полидисперсных материалов	44
<i>Обжерин Ю.Е., Бойко Е.Г.</i> Влияние периодичности проведения контроля на надежность технической системы	45
<i>Банний В.А., Хиженок В.Ф.</i> Влияние размера частиц наполнителя на прочностные характеристики полимерных композиционных радиопоглощающих материалов	46

СЕКЦИЯ Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

<i>Свирский Д.Н., Фирсов А.С.</i> Функциональное моделирование на ранних стадиях проектирования технологического оборудования	48
---	----

<i>Жога В.Л.</i> Использование самоорганизующихся нейронных сетей для автоматизации процедуры конструкторско-технологической классификации деталей общемашиностроительного применения	49
<i>Симанович В.А., Клоков Д.В., Демидов В.А., Пищов С.Н.</i> Особенности расчета ресурса деталей трансмиссии скиддеров	50
<i>Радич А.В., Бусел Б.У.</i> Математическая модель для расчета крутильных колебаний в дотрансформаторном участке трансмиссии карьерного самосвала	51
<i>Песчанский А.И., Глеч С.Г., Приходько Р.А.</i> О стационарных характеристиках многокомпонентных систем с учетом проведения технического обслуживания	52
<i>Симанович В.А., Клоков Д.В., Пищов С.Н.</i> Влияние конструктивной схемы подвеса пачки деревьев на динамику скиддера	53
<i>Михайлов М.И., Шейбак М.Р.</i> Исследование виброустойчивости формы компоновки фрезерного станка методом конечных элементов	54
<i>Михайлов М.И.</i> Моделирование геометрических параметров вращающегося инструмента	55
<i>Мурашко В.С.</i> Автоматизированный расчет суммарной погрешности обработки	56
<i>Польский Е.А., Сорокин С.В.</i> Автоматизация выбора материала деталей пар трения, работающих без смазочного материала	57
<i>Сергеев Л.Е., Новиков А.И.</i> Оптимизация режимов магнитно-абразивной обработки сферических поверхностей	58
<i>Щербаков С.А.</i> Определение размеров установочных ромбических пальцев приспособлений	59
<i>Шабловский О.Н.</i> Волновой теплоперенос в средах с объемными источниками энергии	61
<i>Шабловский О.Н., Кроль Д.Г.</i> Нелинейные тепловые процессы при импульсном нагреве двухслойной металлической пластины	62
<i>Овсянник А.В.</i> Модель процессов теплообмена при кипении на неизотермической (поперечно-оребреной) поверхности	63
<i>Асенчик О.Д., Овсянник А.В., Новиков М.Н.</i> Численное решение задачи теплообмена при кипении на неизотермической поверхности	64
<i>Вальченко Н.А.</i> Кипение этилового спирта на оребренных трубах при различных значениях избыточного давления	65
<i>Дробышевский Д.А.</i> Обобщение экспериментальных данных по теплообмену при кипении ацетона и этанола на горизонтальных оребренных трубах с продольным профилем ребра	66
<i>Сергиенко В.П., Ткачев В.М., Столяров А.И.</i> Прогнозирование термомеханических процессов при фрикционном взаимодействии контактирующих тел (численные методы)	67
<i>Балакин В.А., Лысенко Ю.В.</i> Совершенствование конструкции «вентилируемого» тормозного диска дисковых тормозных механизмов автомобилей на основе теплового анализа их работы	68
<i>Концевой И.А.</i> Закономерности формирования тепловых полей при высокоинтенсивном нагреве металлической пластины	69
<i>Реут О.П., Божко Д.И.</i> Особенности расчета внутренней геометрии эластичного инструмента для сухого изостатического прессования порошковых изделий сложной формы	70

<i>Ткаченко А.В., Жаранов В.А., Зюзьков Е.А.</i> Разработка компенсатора для встроенного рекуператора вагранки	71
<i>Ткаченко А.В., Жаранов В.А.</i> Оптимизация конструкции радиационного рекуператора	72
<i>Кашин Ю.А., Кашина Р.Е.</i> Автономная ветроэнергетическая установка (АВЭУ) с максимальным коэффициентом мощности при ограниченной силе ветрового давления на ветроколесо	73
<i>Шостак И.В., Мандрикова Л.В.</i> Обобщенная типовая модель представления знаний в форме онтологий для интеллектуальных информационно-аналитических систем прогнозирования, предотвращения и преодоления чрезвычайных ситуаций	74
<i>Стеблов А.Б., Бобарикин Ю.Л., Ткачев В.М., Столяров А.И.</i> Оптимизация конструкции окалиноломателя для катанки	75
<i>Герасимова О.В., Кейзеров В.В.</i> Использование процесса конденсации для улавливания высокодисперсной пыли	76
<i>Попов В.Б.</i> Определение параметров вибрации мобильного сельскохозяйственного агрегата в режиме транспортного переезда	77
<i>Иноземцева Н.В., Бобарикин Ю.Л.</i> Разработка и исследование условия адгезии при плакировании	78
<i>Целуева С.Н.</i> Дислокационная модель полос сдвига в аморфных материалах	80
<i>Шевченко А.В.</i> Эффективный способ повышения производительности токарной обработки	81
<i>Струтинский В.Б., Литвин А.В., Кравец А.М.</i> Высокоскоростной вращающийся зажимной гидроцилиндр металлорежущего станка	82
<i>Литвин А.В.</i> Повышение эффективности разработок металлорежущего оборудования в Украине	83
<i>Ефименко Г.Г., Столбецов В.И.</i> Математическое моделирование нелинейных колебаний жидкости в полости, образованной соосными цилиндрами	84

СЕКЦИЯ В. АЭРОДИНАМИКА; ПНЕВМО- И ГИДРОСИСТЕМЫ МАШИН И АППАРАТОВ

<i>Автушко В.П., Жилевич М.И.</i> Обоснование расчетной схемы для автоматизированного моделирования динамики разветвленного гидропривода	86
<i>Михневич А.В., Михневич Н.Н., Андреевец Ю.А.</i> О выборе рабочей жидкости для форсированного объемного гидропривода	87
<i>Пинчук В.В., Лифанов А.В.</i> Использование САПР при проектировании гидроблоков управления	88
<i>Пинчук В.В., Лифанов А.В.</i> Преобразование присоединительных размеров гидроаппаратов	89
<i>Станюк Е.И.</i> Расчет износа деталей в пластинчатом насосе	91
<i>Щемелев А.М., Шибeko А.С.</i> Автоматизация выбора рациональных параметров системы рекуперативного торможения гидрофицированных мобильных машин	92
<i>Пузанова О.В., Тарасик В.П.</i> Синтез алгоритма автоматического управления гидромеханической передачей гусеничной машины	93
<i>Лустенков М.Е.</i> Механизмы преобразования вращательного движения во возвратно-поступательное на базе эллипсной шариковой передачи	94

<i>Бохонский А.И., Варминская Н.И.</i> Оптимальное управление перемещением объектов манипуляторами с пневмоприводами	95
<i>Бордовский А.М., Бодиловский С.М., Вериго А.Б., Козик А.М.</i> Расширение информационных технологий в управлении обслуживанием и ремонтом нефтепроводов	96

СЕКЦИЯ Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

<i>Калинкин С.А., Мухин А.А.</i> Разработка новой перспективной конструкции электрораспределительного устройства 115/200 В переменного тока 400 Гц с малогабаритной аппаратурой	98
<i>Логвин В.В., Рожков А.И.</i> Применение активного преобразователя энергии в векторном асинхронном электроприводе, инвариантном к колебательному моменту нагрузки	99
<i>Рудченко Ю.А.</i> Особенности проектирования линейного асинхронного двигателя для автоколебательного режима	100
<i>Широков Г.О.</i> Требования к устройству защиты тиристорного электропривода типа SSD при провалах напряжения по цепи питания	101
<i>Луковников В.И., Захаренко С.И., Хабибуллин Д.А., Захаренко В.С., Савельев В.А.</i> Система стабилизации натяжения привода намотки стана тонкого волочения	102
<i>Луковников В.И., Кухаренко С.Н.</i> Синтез фильтра, обеспечивающего минимальный переходной процесс в устройстве защиты от перенапряжений	104
<i>Соленков В.В., Брель В.В.</i> Оптимизация параметров электромагнита в двигателях с тормозными устройствами	105
<i>Курганов В.В., Крышнев Ю.В., Баранов А.Г.</i> Применение дискретного преобразования Фурье в датчике потери питания двигательной нагрузки	106
<i>Гуреева О.В., Соболев Д.В.</i> Информационные параметры электромагнитного поля ЛЭП	107
<i>Щуплов В.В., Никеевков А.И.</i> Оперативный контроль параметров сейсмоприемников	108
<i>Орышко Р.Н.</i> Оценка относительной шероховатости стенки эксплуатируемого трубопровода	109
<i>Виноградов Э.М., Котин Д.Б., Орышко Р.Н.</i> Система сбора данных для внутритрубных диагностических снарядов	111
<i>Никеевков А.И., Щуплов В.В.</i> Устройство контроля исправности сейсмоканала	112
<i>Вершинин А.Н., Грачев С.А.</i> Устройство экономии электроэнергии при сварочных работах	113
<i>Парфенов А.А.</i> Программный комплекс резервирования ВЛ 10 кВ	114
<i>Карпов В.А., Ковалев А.В.</i> Термохимический газоанализатор с уменьшенным влиянием технологического несовершенства датчика на погрешность измерения	115
<i>Карпов В.А., Ковалев А.В.</i> Термохимический газоанализатор для расширенного температурного диапазона измеряемой среды	116
<i>Карпов В.А., Захаренко Л.А., Шуликов В.И., Лядвин Е.А.</i> Применение современных микроконтроллеров в системе пуска дизельных двигателей	117
<i>Лымарь О.В.</i> Частотные характеристики трансформатора напряжения НОМ-6	118

<i>Лось Д.М.</i> Математические модели трехфазного трансформатора, учитывающие несимметрию магнитопровода и нагрузки	119
<i>Широков О.Г., Зализный Д.И., Лось Д.М.</i> Методика обнаружения ненормального нагрева силового трансформатора	120
<i>Лымарь О.В., Широков О.Г.</i> Метод измерения частотных характеристик трансформаторов напряжения	121
<i>Широков О.Г., Лось Д.М.</i> Сравнительный анализ систем автоматизированного мониторинга силовых масляных трансформаторов	122
<i>Леонов С.И.</i> Автокоррекция дрейфа напряжений смещения нуля умножителя в компенсационном преобразователе среднеквадратического значения напряжения	124
<i>Изотов П.П., Кондратьев А.А.</i> Модернизация исполнительных пунктов управления наружным освещением г. Гомеля	125
<i>Дробышевский В.И., Хило П.А., Шатько Н.В., Солдатов В.П.</i> Проверка авиационного радиовысотомера в наземных условиях	126
<i>Попов В.Б., Литаш А.И., Баранов А.Г.</i> Бесконтактный датчик крутящего момента	127
<i>Кухаренко С.Н.</i> Устройство защиты от перенапряжений полупроводниковых преобразователей троллейбусов	128
<i>Колесник Ю.Н., Рабков А.Н., Смягликов Д.С.</i> Учет постоянной времени нагрева проводников при их согласовании с защитным аппаратом	129
<i>Вериго А.Б., Гизенко В.В.</i> Контроль токов электрохимической защиты трубопроводов по измерениям магнитного поля	131
<i>Верига Б.А., Вяхирев Н.И., Осипенко И.В.</i> Фильтрация сигнала методом преобразования временной формы	132
<i>Верига Б.А., Кабаев Н.И.</i> Контроль изоляции трубопроводов по токам утечки	133
<i>Изотов П.П.</i> Сравнение фазосдвигающих устройств на основе активного инерционного звена и звена интегрирующего типа	134
<i>Храбров Е.А., Гарбуз В.Н.</i> Вибрационная линия связи	136
<i>Токочакова Н.В., Колесник Ю.Н., Половинко С.И.</i> Исследования режимов электропотребления участков нефтепровода	137
<i>Холязников Ю.Н.</i> Диагностика состояния лесных древесных насаждений резонансным способом	138
<i>Тиличенко М.П.</i> Фильтры СВЧ поглощающего типа логопериодической структуры	139

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 539.3:658.012

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ДЕТАЛЯХ И УЗЛАХ АВИАЦИОННЫХ ГТД

Ю.М. Темис

*Центральный институт авиационного моторостроения,
г. Москва, Россия*

Создание современного авиационного двигателя невозможно без удовлетворения весьма жестких требований к его параметрам и срокам разработки. Многие ведущие авиадвигателестроительные фирмы мира установили норматив в 30-36 месяцев на разработку новой конструкции, резко сократив число двигателей, используемых для испытаний, доводки и сертификации. Для таких рекордных сроков необходимы революционные преобразования по применению предшествующего научно-технического задела и информационных технологий в практику проектирования. Важным параметром, определяющим конкурентоспособность двигателя на мировом рынке, является стоимость его приобретения, интегрально оценивающая параметры экономичности и надежности двигателя на всех этапах его жизненного цикла. При создании конкурентоспособного двигателя для снижения стоимости его приобретения требуется сократить на 50 % время на проектирование, на 15-60 % – на производственные затраты, повысив при этом показатели качества на 80 %. Это возможно за счет внедрения новых информационных технологий, опирающихся на методiku многодисциплинарного математического моделирования. Причем процесс моделирования и соответствующие модели должны сопровождать конструкцию на всех этапах жизненного цикла – от технического задания на проект до вывода ее из эксплуатации. Общие требования к таким моделям и принципы их разработки рассмотрены в работе [1].

Центральная роль в математическом моделировании параметров двигателя отводится моделям газовой динамики, теплопроводности, горения, прочности и динамики, надежности и ресурса. Эти модели позволяют на стадии рабочего проектирования до начала изготовления опытных экземпляров оценить качество проекта, заменив натурные испытания деталей и узлов вычислительным экспериментом, позволяющим определить параметры рабочих процессов в двигателе. На основе такого подхода возможны оптимизация конструктивных решений и технологических процессов изготовления, применение методов параллельного и распределенного проектирования.

В докладе рассматриваются вопросы разработки многодисциплинарных моделей для оценки кинетики напряженно-деформированного состояния и ресурса деталей и узлов при статическом и динамическом нагружении. Приведены результаты решения задач оптимального проектирования лопаток и дисков турбомашин, анализа кинетики зазоров в системе охлаждения двигателя, динамики роторов, определения ресурса с учетом эффектов цикличности нагружения и т. д. Показано, что во многих случаях ресурс определяется с учетом взаимного влияния деформаций и пе-

ремещений конструктивных элементов, их теплового состояния и характеристик обтекания рабочим газом в проточной части и системах охлаждения двигателя.

Л и т е р а т у р а

1. Скибин В.А., Темис Ю.М. Математическое моделирование и автоматизация проектирования турбомашин: В кн: CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении /Науч. ред. А.Г. Братухин. – М.: Изд-во МАИ, 2002. – С. 464-488.

УДК 541.183:661.11:546

СОЗДАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПРОЦЕССА

А.А. Бойко, Е.Н. Подденежный

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

При получении объемных монолитных материалов золь-гель методом возникает ряд проблем, в частности, растрескивание объемного геля в процессе термообработки, невозможность получения крупноразмерных изделий, а при получении порошков – проблемы их агломерации и формирования необходимой морфологии, размера и формы частиц.

В основе представляемой работы лежат новые принципы модифицирования классического алкоксидного золь-гель процесса, сущность которых при получении объемных материалов состоит во введении в золи активных наполнителей – пиро-генных кремнеземов (аэросилов), что приводит к повышенному содержанию твердой фазы в коллоиде (композиционный коллоид), увеличению среднего размера пор, увеличению прочности объемного геля, а следовательно, уменьшению вероятности растрескивания. Использование аэросилов в качестве наполнителей в золи изменяет условия агрегативной и седиментационной устойчивости исходных коллоидов и приводит к необходимости введения дополнительных этапов в золь-гель процесс [1].

С целью увеличения однородности коллоидов на наноразмерном уровне были оптимизированы условия отделения крупных частиц (агломератов аэросила, примесей, грита) с использованием центробежной сепарации (ЦБ). Расчетным путем были определены оптимальные скорости вращения ротора центрифуги и радиуса осаждаемых частиц в зависимости от скорости вращения, вязкости и плотности дисперсной среды, а также времени осаждения [2].

Предложен механизм дегидратации пористого тела композиционного геля. Расчетным и экспериментальным путем установлено, что в гелях, состоящих из агрегатов аэросила, первичных частиц диоксида кремния и гидроксिलированных частиц SiO₂, прочность кремнеземной структуры повышается за счет процессов поликонденсации и уменьшения пористости, что приводит к возможности увеличения скорости сушки (до 3-7 сут., в отличие от алкоксидных гелей, для которых длительность сушки достигает 20-30 сут. при T = 30–60 °C). Установлены оптимальные диапазоны скоростей потери массы жидкости на первом и втором этапах сушки, при которых не происходит разрушения образца.

На базе изучения коллоидно-химических свойств композиционных кремнезем-содержащих систем и исследования физико-химических процессов, проходящих при трансформации «золь – гель – твердое тело» разработаны новые варианты технологии получения функциональных материалов, обеспечивающие возможность синтеза кварцевого гель-стекла с содержанием ионов гидроксила от 0,0002 до 1,25 мас.% и показателем преломления $n_D = 1,4507-1,4570$ в зависимости от технологических режимов.

Литература

1. Подденежный Е.Н., Бойко А.А. Золь-гель синтез оптического кварцевого стекла. – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2002. – 210 с.
2. Бойко А.А., Подденежный Е.Н., Плющ Б.В., Капшай М.Н. Применение методов центрифугирования в схеме золь-гель синтеза функциональных оптических материалов //Центробежная техника – высокие технологии: Материалы межд. научн. конф. – Минск, 12-14 ноября 2003 г. /НПРУП «НПО «Центр». – Минск, 2003. – С. 105-111.

УДК 62-83: 681.518.54: 534.647

КОМПЛЕКСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО РОТОРНОГО ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

В.И. Луковников

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

Международные конференции, семинары-совещания, сессии и коллоквиумы, проведенные за последние 15 лет по вопросам диагностики технического состояния силового роторного оборудования в Монреале (1989-1999), Цюрихе (1991), Санкт-Петербурге (1996), Милуоки (1997), Иокогаме (1997), Флоренции (1998) и т. д., отметили существенный рост интереса к разработкам методов и средств мониторинга, диагностирования и прогнозирования повреждений таких агрегатов.

Это вызвано, в первую очередь, проблемой эксплуатации турбо- и гидрогенераторов, насосных агрегатов нефти и газа, турбокомпрессоров и других мощных вращающихся машин за пределами их номинальных сроков службы.

В мировой и отечественной энергетике нет тенденции увеличения выпуска нового силового роторного оборудования взамен отработавшего срок, поэтому продление срока службы даст большой экономический эффект.

По сведениям института электроэнергетики США (EPRI) повышение готовности на 1 % машины мощностью 500 МВт может дать годовой экономический эффект в 1 млн долларов, а фирма Toshiba (Япония) утверждает, что успешная диагностика повреждений и дефектов может увеличить срок службы агрегата почти на 40 % сверх номинального.

В Гомельском государственном техническом университете имени П.О. Сухого разработана концепция построения системы комплексной диагностики насосных агрегатов [1], создана методика вибродиагностирования [2], утвержденная Проматомнадзором при МЧС Республики Беларусь, и получена лицензия на право проведения вибродиагностики роторных агрегатов на территории Республики Беларусь.

Вибрационное обследование насосных агрегатов на насосно-перекачивающей станции «Гомель» РУП «Гомельтранснефть «Дружба» (г.п. Бобовичи) и Белорусском газоперерабатывающем заводе (г. Речица) на основе этой технической документации позволило не только обнаружить и своевременно вывести в ремонт агрегаты с контролируемыми параметрами, превышающими предельно допустимые значения, но и разработать рекомендации по развертыванию собственных систем стационарной и переносной вибродиагностики.

Литература

1. Луковников В.И., Бордовский М.А. Концепция построения системы комплексной диагностики насосных агрегатов //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – № 1. – С. 35-40.
2. Методика вибродиагностирования технического состояния оборудования взрывоопасных химических производств и процессов (компрессоры, турбокомпрессоры, насосы, газодувки, турбогазодувки, электроустановки, электротехнические устройства во взрывозащитном исполнении //МЧС, Комитет Проматомнадзора Республики Беларусь. – 2001. – С. 22.

СЕКЦИЯ А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 539.4

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ЕГО РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

М.Ю. Темис

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Россия*

Подшипники скольжения с гидродинамическим режимом смазки в основном применяются при создании стационарных газотурбинных установок (ГТУ). Смазка в подшипнике оказывает существенное влияние на статические и динамические параметры ротора стационарной ГТУ. Поэтому одной из основных задач, предваряющих анализ статики и динамики ротора на подшипниках скольжения, является расчет статических и динамических характеристик подшипника скольжения.

Чаще всего расчет статических параметров подшипника скольжения, таких как восстанавливающая сила смазочного слоя и соответствующее ей положение шейки вала, ведется на основе уравнения Рейнольдса для несжимаемой жидкости в предположении, что рабочие поверхности подшипника и шейки вала не деформируются под действующими в зазоре давлениями. Динамические характеристики подшипника, такие как жесткость и демпфирование слоя смазки при малых смещениях шейки вала в подшипнике, определяются при записи уравнения Рейнольдса в возмущенной форме. При этом в качестве исходных данных для расчета используются данные по давлению и толщинам смазки в подшипнике, полученные при статическом решении.

В настоящей работе предложен метод определения статических и динамических характеристик подшипника скольжения с учетом деформаций рабочих поверхностей подшипника и вала, вызванных давлениями смазки в зазоре. Для определения статических характеристик подшипника скольжения решается задача эластогидродинамического контакта шейки вала и подшипника. Давления в слое смазки определяются с использованием метода конечных элементов. Деформации поверхностей шейки вала и подшипника учитываются при решении задачи плоского деформированного состояния методом граничных элементов. Решение ведется итерационно. После расчета статических характеристик определяются динамические характеристики подшипника. Исходными данными при расчете параметров жесткости и демпфирования являются давления и толщины слоя смазки, полученные из решения задачи эластогидродинамики для подшипника.

Проведен расчет статических и динамических характеристик подшипников с различным отношением длины к диаметру во всем диапазоне эксцентриситетов шейки вала в подшипнике. Проведено сравнение результатов распределения давлений и толщин в слое смазки для жестких и деформируемых рабочих поверхностей. Построены сравнительные зависимости для восстанавливающей силы в подшипнике, угла между направлениями силы и эксцентриситета, а также для всех коэффициентов, определяющих жесткостные и демпфирующие свойства опоры. Показано, что для больших эксцентриситетов шейки вала в подшипнике учет деформаций рабочих поверхностей ведет к существенной корректировке характеристик подшипника.

УДК 531.8(075.8):621.01(076.5)

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВИБРОГАШЕНИЕ В УПРУГИХ СИСТЕМАХ С ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ИНЕРЦИОННОСТЬЮ

Э.И. Астахов, В.В. Кудин, А.Л. Косинский, М.Н. Луцко

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

В существующей литературе обычно рассматривается виброгашение машины на одной примерно постоянной частоте при постоянной массе m_1 . Однако в некоторых машинах обобщенная масса (или приведенный момент инерции) изменяется периодически в функции некоторого параметра φ , т. е. $m_1(\varphi)$. Такими, в частности, являются приводы насосов, компрессоров с кривошипно-ползунным механизмом. Задачей работы является теоретическое обоснование и разработка средств виброгашения для упругих систем с $m_1(\varphi)$.

Теоретической основой виброгашения, как известно, является теория колебаний двухмассовых систем с двумя степенями свободы. При условии $m_1(\varphi)$ и постоянном коэффициенте жесткости C_1 защищаемая резонансная угловая p_1 частота также будет функционально изменяться в функции параметра φ , т. е. $p_1(\varphi)$. Тогда условие динамического виброгашения запишется так:

$$C_2 - m_2 \cdot p_1^2(\varphi) = 0,$$

где C_2 – жесткость пружины виброгасителя;

m_2 – масса виброгасителя.

При принятой постоянной массе виброгасителя m_2 следует, что жесткость C_2 виброгасителя должна быть переменной: $C_2(\varphi) = m_2 \cdot p_1^2(\varphi)$. Виброгаситель с пластинчатой пружиной может обеспечить переменную жесткость C_2 изменением длины l пружины, т. е. длина $l(\varphi)$ пружины должна изменяться в функции параметра φ . Для привода с рычажным кривошипно-ползунным механизмом получены функциональные зависимости массы $m_1(\varphi)$, резонансной частоты $p_1(\varphi)$, жесткости $C_2(\varphi)$ и длины $l(\varphi)$ пластинчатой пружины в зависимости от параметра φ . Диапазоны Δm , Δp , Δc и Δl изменения вышеназванных функций определяются как размерами, инерционными и жесткостными параметрами самого механизма привода, так и коэффициентом жесткости C_1 упругой связи. Эти параметры механизма определяют, как известно, устойчивость параметрических колебаний таких механических систем.

Анализируются схемы механических устройств как с рычажными, кулачковыми и другими механизмами, так и схемы с маятниковыми, катковыми динамическими виброгасителями для осуществления как функции $l(\varphi)$ пластинчатой пружины, так и функции частоты $p_2(\varphi)$. На переоборудованной установке ТММ-46 проведено экспериментальное исследование амплитудно-частотных характеристик привода без виброгасителя и с предложенными параметрическими виброгасителями. По результатам экспериментальных исследований можно сделать заключение, что параметрический виброгаситель с функционально изменяемой длиной пластинчатой пружины с помощью рычажных или кулачковых механизмов обеспечивает стабильное уменьшение резонансных частот $p_1(\varphi)$ на малых частотах вращения входного звена основного механизма привода (до 150 об/мин). При больших частотах вращения предпочтительны маятниковые и катковые виброгасители, которые обеспечивают примерную функциональную зависимость $p_2(\varphi)$.

УДК 629.114.4.001.4

**ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРСИРОВАНИЯ
ИСПЫТАНИЙ ТРАНСМИССИОННЫХ АГРЕГАТОВ
СВЕРХТЯЖЕЛЫХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ**

Б.У. Бусел

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

В БНТУ разработана методика расчетно-экспериментального определения темпа накопления усталостных повреждений для деталей трансмиссий карьерных самосвалов. Величина темпа накопления усталостных повреждений определяется выражением

$$R = \frac{N}{S} \sum_i F_i^m \rho_i,$$

где N – суммарное число циклов нагружения;

S – пробег самосвала, км;

F_i – середина i -го интервала сортировки силового фактора;

m – показатель степени кривой усталости;

ρ_i – частота i -го интервала сортировки.

Коэффициент приведения результатов форсированных испытаний (коэффициент форсирования) определяется выражением

$$k = \frac{R_{исп}}{R_{эксп}},$$

где $R_{исп}$, $R_{эксп}$ – темп накопления усталостных повреждений при испытаниях и в эксплуатации, соответственно.

С помощью указанной методики получены величины темпов накопления усталостных повреждений для редукторов мотор-колес сверхтяжелых самосвалов БелАЗ для наиболее тяжелых режимов движения. Результаты для самосвала БелАЗ-7519 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия движения	$R, (\text{Нм})^3$	Коэффициент приведения
Технологический цикл (эксплуатация)	$4,3 \cdot 10^{10}$	1,0
Движение с грузом на подъем:		
3,8 %	$1,1 \cdot 10^{10} \div 2,5 \cdot 10^{10}$	0,5 ÷ 0,6
6,5 %	$5,5 \cdot 10^{10} \div 6,0 \cdot 10^{10}$	1,3 ÷ 1,4
6,8 %	$7,9 \cdot 10^{10} \div 8,5 \cdot 10^{10}$	1,8 ÷ 2,05
8 %	$1,2 \cdot 10^{11}$	2,8
10 %	$2,2 \cdot 10^{11}$	5,1
Трогание и разгон с максимальной интенсивностью	$6,37 \cdot 10^{10}$	1,5
Трогание на подъеме 7,9 %	$22,1 \cdot 10^{10}$	5,1

Выполненные расчеты показали, что использование испытательных участков со специальными неровностями высокого уровня воздействия для форсированных испытаний трансмиссионных агрегатов неэффективно. Полученные значения коэффициентов приведения (таблица) имеют сравнительно небольшие значения. Поэтому, с учетом пробега самосвала по горизонтальной площадке полигона, представляется возможным достигнуть форсирование испытаний редукторов мотор-колес по пробегу в пределах $2,5 \div 3$ раз.

УДК 625.2.012.1

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ МОТОРНО-ОСЕВЫХ ПОДШИПНИКОВ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕПЛОВОЗА

Д.А. Сонин

Брянский государственный технический университет, Россия

На тяговом подвижном составе железнодорожного транспорта широкое распространение получил электрический привод колесных пар. Типичный электропривод включает в себя электродвигатель и односторонний редуктор, состоящий из ведущей шестерни, ведомого зубчатого колеса и кожуха. На грузовых и маневровых тепловозах электродвигатель опирается, с одной стороны, через моторно-осевые подшипники на ось колесной пары, а с другой стороны, – с помощью пружинного комплекта на поперечную балку рамы тележки.

Применяемые в настоящее время моторно-осевые подшипники скольжения имеют ряд существенных недостатков, таких как трудоемкость обслуживания, большой расход цветных металлов и смазки, невозможность эффективной герметизации. Поэтому для перспективных магистральных и маневровых тепловозов, а также для электровозов предусматривается применение моторно-осевых подшипников качения со сроком службы не менее 2,5 млн км пробега.

На данный момент не существует методики оценки долговечности моторно-осевых подшипников качения, которая позволила бы надежно учитывать все факторы, влияющие на подшипниковый узел. Данная работа выполнена с целью определения нагрузок, действующих на моторно-осевые подшипники тепловоза.

Исследования динамики тепловоза проводились с использованием специализированного программного комплекса UM Loco, разработанного совместно профессором кафедры «Прикладная механика» Д.Ю. Погореловым и профессором кафедры «Локомотивы» Г.С. Михальченко.

В качестве объекта исследования принят тепловоз ТЭМ21 с асинхронным тяговым приводом, разработанный ООО ПК «Брянский машиностроительный завод». Отличительной особенностью экипажной части указанного тепловоза является безшкворневая схема передачи тягового усилия за счет наклонных тяг и применения второй ступени подпрессоривания с использованием пружин типа «флексикойл».

Расчеты проводились на прямых участках пути, а также в кривых радиусом 300 и 600 метров. Оценена динамическая нагруженность подшипниковых узлов тягового привода при движении локомотива на ровном и неровном пути, в тяговом режиме и без тяги. Исследования проведены в диапазоне скоростей от 9,4 км/ч (режим длительной силы тяги) до 120 км/ч (конструкционная скорость).

В процессе исследования установлено, что:

- максимальная осевая нагрузка на подшипники возникает при движении с конструкционной скоростью и составляет 23 кН;

- более нагруженным всегда является подшипник, расположенный у редуктора, так как максимальная радиальная нагрузка на него составляет 83 кН, в то время как на подшипник, расположенный со стороны коллектора электродвигателя, – 19 кН;
- при движении со скоростью длительного режима неровности пути не оказывают значительного влияния, увеличение нагрузки на подшипники составляет менее 20 %;
- на высоких скоростях движения большое влияние оказывает динамическая составляющая, так как при движении локомотива с конструкционной скоростью на прямом участке пути радиальная нагрузка на подшипник, расположенный у редуктора, увеличивается в два, а на подшипник у коллектора – в четыре раза.

УДК 621.833:620.191

ПРИЧИНА И КАЧЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ ПИТТИНГ-ПРОЦЕССА В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

Р.М. Игнатищев, Ю.В. Машин, В.А. Логвинова

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

Речь идёт о прогрессирующем питтинге – явлении выкрашивания кусочков металла (размерами от видимых лишь через лупу до 3-х и более мм максимального линейного размера) с участков поверхностей зубьев, расположенных вблизи от пересечения профилей с начальными цилиндрами.

Цель исследований: установить особенность физико-механической причины появления питтинга и дать качественное описание работы передачи в послепиттинговый период её эксплуатации.

Методика проведения исследований: выявление в условиях эксплуатации питтинговых зубчатых пар, обмеры радиусов кривизны поверхностей их зубьев, сопоставительный анализ наблюдаемых случаев.

Установлено:

1. В процессе нормальной эксплуатации зубчатых пар (при качественной смазке и хороших уплотнениях) активные профили зубьев существенно искажаются. «Существенно» не в смысле утонений зубьев, что обычно имеется в виду, а в смысле изменения радиусов кривизны.

Характер искажений профилей зубьев такой, что кривизны на участках длиной 0,2-0,4 модуля зацепления, содержащие внутри точку пересечения с начальной окружностью, существенно возрастают. В частности, в зоне появления питтинга у ведущего зубчатого колеса мультипликатора компрессора DEMAG (г. Могилёв, ОАО «Химволокно», февраль 2004 г.; ширина венца – 150 мм; число зубьев – 285, модуль – 4,5 мм, косозубое – с углом 21°; поверхностная закалка зубьев ТВЧ на глубину 1,5-2 мм до твёрдости 50-55 HRC) радиус кривизны профилей на участках, подвергшихся питтингу, был уменьшенным в 5,4 раза (первоначальный – 225 мм; математическое ожидание действительного радиуса кривизны на этом же участке профиля, полученного по 75 замерам, оказалось равным 41,2 мм).

Были уменьшенными в два раза и радиусы кривизны на подверженных питтингу участках у ведомого зубчатого колеса с числом зубьев 36.

То есть в опасной зоне к началу появления питтинга контактные напряжения оказались увеличенными, по сравнению с началом эксплуатации, в 2,4 раза.

Явление выкрашивания и возникло потому, что контактные напряжения превысили предел усталости.

2. У нагруженных прямозубых передач модулем до 5 мм возникший питтинг заканчивается, как правило, через десяток-сотню часов работы поломкой зубьев и заклиниванием передачи. У прямозубых передач модулем 7 и более миллиметров первый питтинг обычно проходит без поломки зубьев. При этом профиль существенно искажается и оказывается далёким от обеспечивающего постоянное передаточное отношение, но такое, далёкое от правильного, зацепление продолжает выполнять свои передаточные функции, порождая, однако, в машине большие динамические составляющие нагрузок и шумы. Затем появляется второй питтинг, а при модулях 9 и более мм поломка зубьев может наступать лишь после третьего питтинга.

3. У упомянутой в пункте 1 передаче питтинг наблюдался в форме едва видимых отделяющихся частиц. К поломке зубьев он не привёл, но в зонах, соответствующих полюсу зацепления, профили из первоначально выпуклых оказались вогнутыми, т. е. косозубые передачи лучше сопротивляются отрицательным влияниям питтинга.

УДК 621.85.052.44

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ

А.Н. Никончук, А.А. Петровский, А.Г. Таяновский

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

Зубчато-ременные передачи считаются одними из самых перспективных и быстроразвивающихся элементов трансмиссий, что, прежде всего, связано с их низкой стоимостью, высокой надежностью и нагрузочной способностью, сопоставимой с зубчатыми передачами.

Вместе с тем, схема взаимодействия зубьев при передаче крутящего момента обуславливает генерирование ими колебаний, связанных с ударным взаимодействием при пересопряжении. Таким образом, несмотря на то, что сам ремень и его зубья изготовлены из эластомерных материалов, зубчато-ременные передачи становятся источником шума и вибраций. Эти шумы и вибрации, в основном, генерируются на зубцовых частотах и их гармониках, интенсивность которых возрастает с увеличением нагруженности и связана, в основном, с увеличением деформаций входящих в зацепление зубьев ремня.

Существующие способы решения этой проблемы условно можно разделить на 2 группы: а) оптимизация параметров передачи – натяжения ремня, коррекции шкивов и т. д.; б) удлинения во времени фазы входа в зацепление, реализуемое путем пространственной модификации зубьев и придания им шевронной и т. п. конфигураций. Такой метод, как повышение точности изготовления деталей передачи разработчиками не рассматривался, так как считалось, что он ведет к неоправданному увеличению стоимости. Это связано с тем, что традиционно зубья формообразующих поверхностей оснастки для изготовления ремней и шкивы нарезаются методом копирования и отсутствовали методы синтеза профиля червячных фрез для реализации метода обкатки. Между тем известно, что непрерывное деление, при прочих равных условиях, позволяет получать зубчатые венцы на 2-4 степени точности выше, нежели дискретное.

Анализ многопарного взаимодействия зубьев ремня и шкива свидетельствует о том, что повышение точности их шага позволяет упорядочить неравномерное распределение усилий в зацеплении и снизить, тем самым, интерференцию (деформацию) входящих в зацепление зубьев ремня, и, следовательно, снизить уровень генерируемого зацеплением шума. Таким образом, была поставлена задача разработать методику профилирования рабочей части червячных фрез для нарезания как оснастки, так и шкивов стандартных трапецеидальных профилей.

Такая методика была разработана на основе общей теории зубчатых зацеплений, причем аксоидами такой псевдопередачи являлись: для шкива (зубчатого сердечника) – совпадающий с делительным начальный цилиндр радиуса $R = m \cdot z / 2$, где m , z – модуль и число зубьев шкива; для фрезы – начальная плоскость, в которой расположен ряд зубьев искомого профиля.

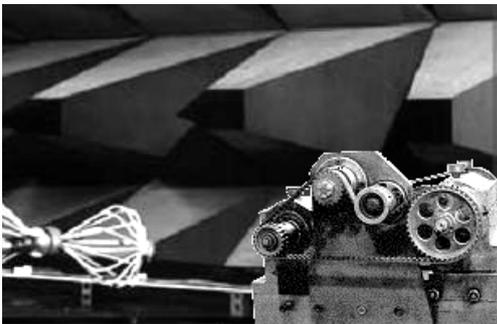


Рис. 1

Практическая реализация разработанной методики производилась путем изготовления червячных фрез для ремней типа L по ISO 5296. С их помощью были нарезаны комплекты опытных шкивов и зубчатый сердечник пресс-формы для производства ремня типоразмера 437L (111 зубьев). Одновременно был изготовлен такой же комплект деталей, зубья которых нарезались методом копирования на этом же оборудовании.

Для оценки эффективности предложенной методики были проведены испытания обоих видов передач, для чего использовался стенд с замкнутым силовым потоком, позволяющий испытывать одновременно 2 передачи одного типа. Стенд помещался в антиреверберационную камеру с установленными в ней микрофонами. Измерительной аппаратурой являлся измеритель шума и вибраций ИШВ-1 с октавными фильтрами. В результате исследований в идентичных условиях, т. е. при одинаковых уровнях окружающей силы и натяжения ремня, установлено, что при частоте вращения шкивов 2000, 4000 и 6000 об/мин снижение уровня шума для передач, нарезанных методом обкатки, составляет не менее 3, 5 и 12 дБ, соответственно. Подобный результат позволяет рекомендовать повсеместное применение метода обкатки для нарезания шкивов и деталей оснастки вместо метода копирования.

УДК 628.517.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВИБРОИЗОЛИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.В. Босаков, Э.И. Астахов, В.В. Кудин

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Объектом исследования являлся виброизолированный фундамент под установку лазерной резки, представляющий собой железобетонную плиту в плане (7,8×2,9) м толщиной 0,6 м, установленную на пружинных виброизоляторах в бетонном коробе площадки прессового цеха. Задачей работы было определение частот собственных колебаний и амплитуд вынужденных колебаний виброизолированного фундамента методом конечных элементов при заданном вибровозмущении площадки.

Кинематическое вибровозмущение площадки, замеренное экспериментально, принято: 1) полигармоническим с основной низшей частотой 15 Гц и амплитудой 0,03 мм на этой частоте; 2) пространственным (по трем осям X, Y, Z) с наибольшими амплитудами по оси Z. Расчет собственных и вынужденных колебаний проведен на программном комплексе «Ли́ра-ПК», реализующем метод конечных элементов в перемещениях. Масса фундамента приводилась к 15-равным сосредоточенным массам в узловых точках, расположенных симметрично осям X и Y на невесомой изгибаемой прямоугольной плите. Упругая конструкция фундаментной плиты представлена 448-ю конечными элементами типа 11 (прямоугольный элемент изгибаемой плиты) и 70-ю упругими элементами типа 51 (связь конечной жесткости). Расчет проводился для следующих случаев: 1) свободные колебания по осям X, Y, Z с определением собственных частот и форм колебаний; 2) вынужденные колебания при кинематическом гармоническом возмущении низшей частоты с определением амплитуд колебаний; 3) статический расчет фундаментной плиты на равномерно распределенную нагрузку собственного веса и сосредоточенную нагрузку установленной лазерной установки.

По результатам расчетов собственных колебаний было получено, что низшая частота основного тона колебаний фундамента равна 3,5 Гц, форма основного тона по оси Z – поступательно изгибная, что говорит о достаточно высокой жесткости плиты фундамента. Ближайшие к частоте кинематического возмущения (15 Гц) частоты собственных колебаний фундамента равны 8,62 Гц и 22,93 Гц, что указывает на отсутствие резонанса на основной частоте кинематического возмущения 15 Гц. Амплитуда вынужденных колебаний на расчетной частоте 15 Гц составила 1,95 Мкм, что обеспечивает уменьшение колебаний фундамента установки лазерной резки более чем в 15 раз.

По вышеназванной методике были рассчитаны вынужденные колебания при различных схемах размещения виброизоляторов. Анализ результатов расчета показал, что наиболее предпочтительной является схема с пружинными виброизоляторами, центр жесткости которых совпадает с центром масс фундамента с лазерной установкой.

УДК 621.787

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИМПУЛЬСНО-СИЛОВОМ ВИБРОНАКАТЫВАНИИ

Ж.А. Мрочек

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

Известно, что в процессе вибронакатывания основные факторы – это усилие деформации и геометрические параметры контактирующих поверхностей. Эти величины позволяют определить параметры процесса: упругую составляющую (α_Y) и величину пластической деформации (h_K); величину сближения контактирующих тел при наличии только упругой деформации (α_0). Для определения этих величин разработаны методики расчета. Однако, когда неизвестен ни один из этих параметров, кроме геометрических параметров поверхностей и натяга (i), основным вопросом является установление зависимости между глубиной пластической деформации и натягом. Зная величину h_K можно найти остальные параметры процесса.

При пластическом деформировании натяг определяется как

$$i = \alpha_Y + h_K,$$

где $\alpha_Y = W_1 + W_2$;

W_1, W_2 – упругое смятие шара и восстановление металла в центре контакта после снятия нагрузки;

α_Y – суммарное упругое сближение контактирующих тел в центре контакта.

Глубину остаточной пластической деформации при упругопластическом контакте тел определяют как

$$h_K = \frac{P}{C},$$

где $C = \pi D_{\text{пр}} H_D$;

H_D – контактный модуль упрочнения;

$D_{\text{пр}}$ – приведенный радиус кривизны контактирующих тел;

P – нагрузка при вдавлении.

Величины h_K, α_Y, P связаны между собой соотношением

$$\alpha_Y = \frac{\bar{\sigma}_0}{\sqrt[3]{1 + 2h_K / \bar{\sigma}_X}},$$

где α_0 – величина сближения контактирующих тел при наличии упругой деформации. Тогда $\alpha_Y^3 + 2h_K \alpha_Y^2 = C_1 P^2$,

$$\text{где } C_1 = \frac{9P^2 \cdot (K_1 + K_2)^2}{8 \cdot D_{\text{пр}}}.$$

В случае $\alpha_Y = i - h_K$, получим $h_K^3 - h_K^2(i + c^2 c_1) - i^2 h_K + i^3 = 0$.

Решение этого уравнения дает искомую величину

$$h_K \frac{1}{3} b_1 - 2\sqrt{|P_1|} \cos \left[\frac{1}{3} (p + \arccos(q_1 / \sqrt{P_1^3})) \right],$$

где $b_1 = i + c^2 c_1$; $q_1 = -\frac{1}{27}(i + c^2 c_1)^3 - \frac{1}{6}i^2(i + c^2 c_1) + \frac{1}{2}i^2$;

$$P_1 = -\frac{1}{9} [3i^2 + (i + c^2 c_1)^2].$$

Результаты расчетов показывают, что остаточная пластическая деформация с увеличением натяга увеличивается, а при увеличении диаметра шара, твердости материала и неизменном натяге – уменьшается, несмотря на увеличение контактной нагрузки.

УДК 664.022

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЫЧАГА ВАЛЬЦОВОГО СТАНКА

А.В. Иванов, М.М. Сапун

*Учреждение образования «Могилевский государственный
университет продовольствия», Республика Беларусь*

Существенное влияние на качественно-количественные показатели процесса измельчения зерна на вальцовых станках оказывает жесткость их деталей, в частности, рычагов, на которых крепятся мелющие вальцы. Недостаточная жесткость ры-

чагов приводит к увеличению межвальцового зазора, который является одним из главных технологических параметров процесса измельчения зерна. Рычаг вальцового станка имеет довольно сложную конфигурацию, характеризующуюся наличием резких переходов от одного размера к другому, и нагружен в плоскости, перпендикулярной оси закрепления его нижней части. Определение деформаций рычага под нагрузкой классическими методами теории упругости не представляется возможным.

Расчет осуществлялся с использованием метода конечных элементов. Расчет деформаций по осям проводили для диапазона нормальных усилий измельчения, соответствующих работе вальцового станка на первой данной системе. По полученным данным построили зависимости перемещения центральной части рычага от нагрузки, которая имеет линейный вид.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что при усилиях измельчения не превышающих усилий, возникающих при нормальном режиме работы вальцового станка, максимальное изменение межвальцового зазора только вследствие деформации рычага составит несколько десятков микрометров (рис. 1). Однако реальное изменение межвальцового зазора будет меньше, так как жесткость одного рычага очевидно меньше, чем рычага в сборе с крышками подшипникового узла. Заниженную жесткость модели рычага можно принять в запас жесткости при расчетах.

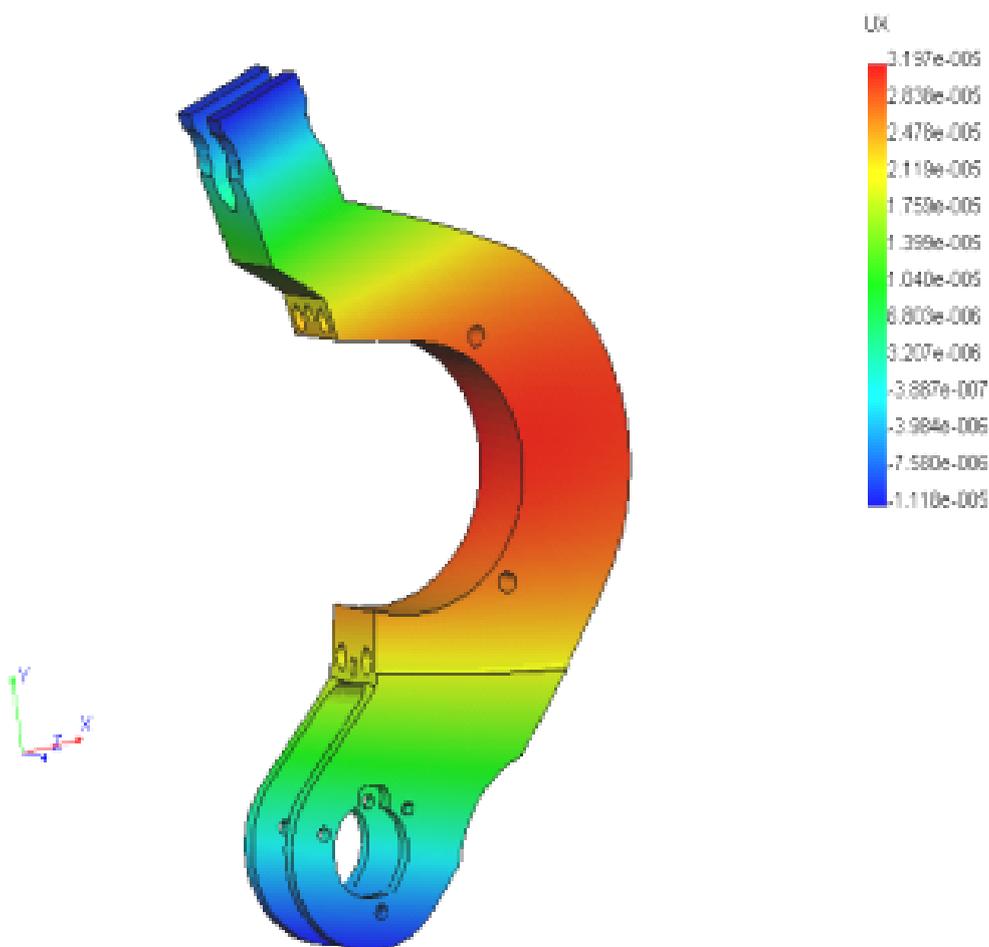


Рис. 1. Деформационное состояние рычага вальцового станка

УДК 664.71

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МУКОМОЛЬНОГО ВАЛЬЦОВОГО СТАНКА

А.В. Иванов, Е.Л. Волынская, Ж.В. Кошак

*Учреждение образования «Могилевский государственный
университет продовольствия», Республика Беларусь*

При производстве сортовой пшеничной муки основной измельчающей машиной является вальцовый станок. От его технического состояния зависит качество извлекаемого продукта. Основным показателем качества в процессе измельчения является зольность муки, а количественным показателем – извлечение продукта.

Для оценки технического состояния вальцового станка использовалась специально разработанная система, включающая в себя аналогово-цифровой преобразователь и программное обеспечение. Данная система позволяет получать сигнал с трансформатора тока, отображающий мгновенное изменение мощности, характеризующее наличие или отсутствие дефектов вальцового станка. После обработки токовых сигналов с помощью спектрального анализа был получен частотный спектр проявления дефектов, в результате чего было выяснено, что при работе вальцового станка самые распространенные из них – это биение быстро- и медленновращающихся вальцов, их овальность, износ зубьев в зубчатой передаче, биение шкива электродвигателя.

В основу оценки технического состояния вальцового станка было положено то, что при проявлении амплитуды дефекта ниже 5 % технологические показатели измельчения остаются в пределах погрешности измерения. Поэтому технологически исправной можно считать систему с проявлением дефектов ниже 5 %.

Была проведена диагностика технического состояния вальцовых станков на предприятиях Республики Беларусь.

Токовый сигнал исправного станка имеет только одну постоянную составляющую в 50 Гц – частота тока в сети. При анализе токовых сигналов неисправных вальцовых станков наряду с постоянной составляющей проявляются и другие частоты, расположенные симметрично относительно частоты 50 Гц. Эти частоты соответствуют частотам вращения быстрого и медленного вальцов, их овальности, износу зубьев в зубчатой передаче, биению шкива электродвигателя.

Наличие данных дефектов подтверждается количественно-качественным анализом продуктов размолла. На технологически исправной системе количественно-качественные показатели процесса измельчения находятся в соответствии с «Правилами организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах».

На технологически неисправной системе средний коэффициент извлечения по длине вальца, а также средняя зольность продуктов измельчения увеличивается, что приводит к ухудшению качества выпускаемой продукции.

На основании всего вышеизложенного можно сделать следующее заключение:

- разработанная система оценки технического состояния вальцового станка позволяет выявить дефекты станка, возникающие в процессе работы;
- наиболее часто встречающимися дефектами являются биение быстро- и медленновращающихся вальцов, их овальность, биение шкива электродвигателя;
- данные по техническому состоянию вальцовых станков были подтверждены количественно-качественными показателями процесса измельчения на данных системах.

УДК 539.3

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ РЕСУРСА МАТЕРИАЛА КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКИХ ПАРАМЕТРОВ

В.С. Бондарь, В.В. Даншин, Д.А. Макаров

*Московский государственный технический
университет «МАМИ», Россия*

Увеличение рабочих параметров современных машин и аппаратов, при одновременном снижении их металлоемкости, приводит к возрастанию как общей, так и местной напряженности конструкций. Реальные процессы нагружения таких конструкций приводят к тому, что в материале конструкций возникают неупругие (вязкопластические) деформации. Причем нагружение является сложным неизотермическим процессом и характер его изменения может быть самым произвольным в условиях повторности и длительности воздействия температурно-силовых нагрузок.

Экспертная система представляет собой программный комплекс, обеспечивающий решение задачи неупругого деформирования и накопления повреждений (разрушения) материала конструкции при повторном и длительном температурно-силовом воздействии. Программный комплекс применяется для расчетной оценки ресурса материала при произвольном изменении температуры либо двух компонент напряжений (мягкое нагружение), либо двух компонент деформаций (жесткое нагружение). Математическая модель, на которой построен программный комплекс, основывается на теории неупругости, прошедшей экспериментальное обоснование на широком спектре программ (более 150) экспериментальных исследований и материалов (более 20 конструкционных сталей и сплавов). Погрешность теории неупругости по компонентам напряженно-деформированного состояния не превышает 10 %, а по параметрам разрушения – 20 %.

Программный комплекс состоит из двух модулей: модуля определения материальных функций, замыкающих теорию неупругости, и модуля расчета неупругого деформирования и накопления повреждений.

Для определения материальных функций достаточно следующего минимального набора экспериментальных данных, полученных в условиях одноосных изотермических нагружений при различных уровнях температуры: диаграммы пластического деформирования при растяжении без предварительного сжатия и после предварительного сжатия; данные по релаксации напряжений и ползучести; по длительной прочности и малоциклового усталости.

В случае наличия неполного набора указанных экспериментальных данных, отсутствующие данные могут быть получены на основании принципа Мазинга, критериев малоциклового и длительной прочности и т. д.

Для работы с программным комплексом необходим персональный компьютер с операционной системой WINDOWS 95/98/2000/XP.

УДК 620.178

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО РОЛИКА МНЛЗ****П.В. Ясний, П.О. Марущак***Тернопольский государственный технический университет
имени Ивана Пулюя, Украина*

В настоящее время машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) широко используются в металлургии. Одним из основных узлов, которые определяют ресурс работы машины, являются биметаллические ролики, внешний слой которых растрескивается в процессе циклического нагружения в условиях высоких температур.

Ролики МНЛЗ изготавливают методом центробежного литья с последовательной заливкой слоев. Для изготовления внешнего слоя используют нержавеющую сталь 15X13MФ_л, несущий слой сталь 25X1M1Ф_л.

Проведены исследования влияния эксплуатационных температур: +20, +375, +600 °С на трещиностойкость материалов ролика МНЛЗ.

Испытания проводили на сервогидравлической испытательной машине типа СТМ-100 с управляющей ЭВМ IBM PC/AT при контролируемом размахе усилия с коэффициентом асимметрии цикла $R = P_{\min}/P_{\max} = 0$. Частота нагружения 0,1 Гц, форма цикла треугольная и трапецевидная с выдержкой при максимальном усилии 10 с (здесь P_{\min} , P_{\max} – соответственно минимальное и максимальное усилии циклического нагружения).

Характеристики циклической трещиностойкости исследовали при одноосном растяжении призматических биметаллических образцов с боковым надрезом (длинной 200 мм, шириной 25 мм, толщиной 5 мм). Трещина распространялась перпендикулярно линии сплавления металлов, которая совпадала с вертикальной осью симметрии образца.

В процессе исследований записывали перемещение по линии действия силы, раскрытие берегов надреза. Длину трещины на поверхности образца измеряли с помощью оптического микроскопа МБС-10.

Обработку данных эксперимента производили с помощью специальной программы «FATIGUE».

Анализ результатов по скорости роста усталостной трещины (РУТ) проводили с использованием подходов линейной и нелинейной механики разрушения.

При представлении данных в координатах $da/dN - K_{\text{bimax}}$ (здесь K_{bimax} – коэффициент интенсивности напряжений) скорость РУТ в стали 15X13MФ_л не чувствительна к температуре испытаний. Данные, полученные при различных температурах, находятся в поле разброса.

Получено значительное увеличение скорости РУТ (в 5...7 раз) с повышением температуры от +20 до +600 °С в зависимости от размаха раскрытия вершины трещины и размаха J -интеграла.

Выдержка в течение 10 с при максимальном нагружении (трапецевидный цикл) при +20 и +375 °С увеличивает скорость РТ по сравнению с треугольным циклом, при +600 °С получен противоположный эффект – выдержка привела к уменьшению скорости роста трещины усталости-ползучести в стали 15X13MФ_л в 5...6 раз.

Для стали 2X1M1Ф_л при нормальных условиях выдержка приводит к увеличению скорости роста трещины в 2...3 раза.

Скорость роста трещины в условиях усталости-ползучести описывали, используя метод линейного суммирования повреждений и метод доминирующего влияния.

УДК 620.172.2:621.785.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КИНЕТИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФфуЗИОННЫХ КАРБИДНЫХ СЛОЕВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ НА СТРУКТУРУ И УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЯ

В.М. Кенько, И.Н. Степанкин

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

С.В. Шилько, В.Ф. Хиженок

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

Упругие характеристики материалов являются важнейшими исходными данными при проведении расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций. В настоящее время широко применяется упрочнение поверхности деталей конструкций путем диффузионного насыщения металлами или неметаллами, в частности, углеродом. Однако экспериментальные данные по упругим характеристикам диффузионно-упрочненных слоев отсутствуют.

Целью работы было определение влияния кинетики упрочнения стали на структуру и упругие характеристики поверхностного слоя.

В качестве объекта исследований выбрана быстрорежущая сталь Р6М5, упрочненная путем науглероживания. Кинетику формирования карбидного слоя изменяли согласно [1]. Модуль упругости и коэффициент Пуассона при растяжении определяли на автоматизированном стенде Instron 5567 методом электротензометрирования. Для повышения точности измерения использовали розетки (пары) фольговых тензодатчиков с перпендикулярным расположением решеток, размещенные с обеих сторон плоского образца. Фиксацию образцов производили при помощи штифтов, что обеспечивало высокую жесткость соединения с захватами. Предварительной нагрузкой устраняли начальный изгиб образцов. Напряжения и деформации регистрировали при растягивающих усилиях свыше 1000 Н.

Для оценки достоверности методики предварительно испытывали образцы без диффузионного упрочнения, твердость которых составляла 62-63 HRC. Полученные значения модуля упругости ($2,25 \times 10^{11}$ Па) и коэффициента Пуассона (0,27) совпали с известными справочными данными [2]. Следовательно, разработанная методика позволяет получать достоверные величины упругих характеристик упрочненных слоев.

Исследование влияния кинетики формирования диффузионно-упрочненного слоя на структуру и упругие характеристики проводили на образцах, получаемых по технологии, совмещающей процессы насыщения стали и ее аустенизации. Последующую закалку проводили начиная с температур 950, 1050 и 1100 °С. В структуре образца, закаленного с температуры 950 °С, не было выявлено действительного зерна аустенита. Образцы, закаленные с температуры 1050 °С, имели структуру аустенита, соответствующую 12 баллам, а с температуры 1100 °С – 11-10 баллам. После закалки образцы подвергали трехкратному отпуску при температуре 560 °С. Твердость первой партии образцов составила 62-63 HRC, второй и третьей – 65-66 HRC. Результаты испытаний показали, что при упрочнении науглероживанием стали Р6М5 кинетика формирования карбидного слоя не влияет на его упругие характеристики. Модуль упругости упрочненного слоя для всех испытанных образцов составил порядка $2,25 \times 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона 0,27.

Таким образом, упрочнение быстрорежущей стали Р6М5 посредством науглероживания изменяет структуру и повышает твердость металла, но не оказывает влияния на модуль упругости и коэффициент Пуассона упрочненного слоя. Это говорит о том, что при компьютерном моделировании напряженно-деформированного состояния деталей с упрочненной поверхностью правомерно использование объемных упругих характеристик материала.

Литература

1. Пат. 4588 ВУ, МПК С23С 8/00. Способ упрочняющей обработки быстрорежущей стали /В.М. Кенько, И.Н. Степанкин, С.Н. Гузов, В.И. Бобиков, В.Ф. Пинчуков, В.М. Выгляд. – № 19980716 А; Заявл. 27.07.1998; Опубл. 30.09.2002 //Афіцыйны бюлетэнь Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 2002.– № 3.
2. Таблицы стандартных справочных данных. Сталь инструментальная быстрорежущая. Механические свойства. ГСССД 9-79. Издательство стандартов, 1980. – 7 с.

УДК 621.793

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОСНОВЫ И НАКАТКИ КАРБИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНОСИМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

В.С. Ивашко, В.А. Коваль

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

В.В. Саранцев

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Процессы изнашивания и коррозии являются основными причинами выхода из строя деталей машин. Как известно, у 70 % деталей износ находится в пределах 0,01 – 0,5 мм. Рабочая поверхность подвергается усталостному изнашиванию, имеет наклеп, а значит, и высокую твердость, из-за чего ограничено число методов и способов восстановления работоспособности деталей.

Предлагаемая технология позволяет получать износостойкие покрытия толщиной до 0,4 мм. Износостойкий слой формируется за счет тепловыделения при протекании экзотермической реакции в нанесенном слое шихты на поверхности упрочняемой детали после инициирования ее внешним источником тепла. Получаемое покрытие имеет сложную топографию, которая имеет ряд преимуществ, а именно: уменьшение напряжений на поверхности детали с покрытием и хорошее удержание смазки на рабочей поверхности. Износостойкий слой формируется как за счет элементов исходной смеси, так и за счет поверхностного слоя основы. Взаимодействие расплава продуктов горения с основой включает в себя следующие основные процессы: фазоразделение; теплообмен расплава и основы; растекание металлической фазы между поверхностью металлической основы и окисным слоем; перемешивание расплава «металлической» фазы с расплавом поверхностного слоя металлической основы; кристаллизация металлического и окисного слоев и окончательное формирование микроструктуры и фазового состава. Достигнуть плавления стальной основы можно несколькими путями: создавая высокую температуру горения, подогревая стальную основу, увеличивая тепловую активность реагентов (за счет снижения дисперсности). Во время реакции компоненты находятся в жидком состоянии. Частица жидкого расплава растекается, образуя полусферическую поверхность с различными радиусами, в зависимости от смачиваемости с поверхностью [1].

Для того чтобы получить большую сплошность поверхности, было предложено совмещать процесс нанесения покрытия с процессом накатки. Она производится ротационным шариковым инструментом с упругим контактом с обрабатываемой поверхностью, пока покрытие находится еще в разогретом состоянии. Такая обработка улучшает качество покрытия, повышает его сплошность, изменяя топографию, позволяет снизить остаточные напряжения в поверхностном слое детали.

Важную роль в обеспечении высокого качества покрытий, каким бы методом они ни наносились, играет предварительная подготовка поверхности. Часто недостаточное внимание к подготовке поверхности может свести на нет все последующие технологические операции по нанесению покрытий и привести к неисправимому браку изделия. Наибольшее распространение получили термическая активация и предварительная пластическая деформация. Эффект активирования увеличивает переходную зону, что, в свою очередь, влияет на прочность сцепления и износостойкость поверхностного слоя, т. к. химическое взаимодействие материалов покрытия и основы характеризуется уменьшением свободной энергии системы, а кинетика энергетическим барьером, который необходимо преодолеть атомам для перехода одного устойчивого состояния в другое (энергией активации взаимодействия).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности активирования основы предварительным деформационным упрочнением и совмещать метод накатки с нанесением тугоплавких покрытий для уменьшения шероховатости и повышения контактной усталостной прочности деталей.

Литература

1. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. – М.: Бином, 1999. – 176 с.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПОРОШКОВ И УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ф.И. Пантелеенко

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

В.А. Люцко, Г.В. Петришин, В.Ф. Соболев

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

В работе приведены результаты исследований износостойкости покрытий из различных ферромагнитных порошков (ФМП) ферробора (ФБ-6, ФБ-17 ГОСТ14848-69), ферроборхрома (ФХБ-1, ФБХ-6-2 ТУ 48-42-12-70) серого чугуна, легированного В, Si, Cr, Ni (СЧЛ-1), абразивного (ферробраз-311) в условиях трения скольжения со смазкой, содержащей абразив. Данный вид износа характерен для большого ряда деталей сопряжений, работающих в условиях трения со смазкой, в которую абразив попадает либо из окружающей среды, либо в виде продуктов износа, шлама, нагара и т. д. (подшипниковые узлы сельскохозяйственных, транспортных, дорожно-строительных машин, детали двигателей внутреннего сгорания, направляющие элементы корпусных деталей технологического оборудования). Поэтому проблема повышения долговечности для деталей, работающих в указанных условиях, в настоящее время является вполне актуальной.

Исследования проводились на машине трения СМТ-1, микротвердость упрочненных образцов определялась на приборе ПМТ-1. Упрочнение образцов производилось на лабораторной установке, смонтированной на базе горизонтально-фрезерного станка мод. 6Р82Г в двух режимах: с включенным блоком стабилизации и с его отключением. Анализ экспериментальных данных показал, что материал ферропорошка оказывает существенное влияние на износ образцов. В порядке уменьшения износостойкости покрытий, в зависимости от марки применяемого ферропорошка, располагаются в следующей последовательности:

СЧЛ-1 ($\varepsilon_{отн.} = 4,62$) → ФХБ-1 ($\varepsilon_{отн.} = 3,98$) → ФБ-17 ($\varepsilon_{отн.} = 2,96$) → ФБ-6 ($\varepsilon_{отн.} = 2,13$) →
→ ФБХ-6-2 ($\varepsilon_{отн.} = 2,03$) → ферробраз-311 ($\varepsilon_{отн.} = 1,53$).

Наибольшую износостойкость имеют покрытия из порошков СЧЛ-1 и ФХБ-1, хотя они по значениям микротвердости соответственно $H_{\mu} = (1600-1950) \cdot 10 \text{ МПа}$ и $H_{\mu} = (1250-1500)$ уступают покрытиям из ферропорошка ФБ-17 с $H_{\mu} = (1550-2080) \cdot 10 \text{ МПа}$. Повышенная износостойкость данных металлопокрытий объясняется более плавным изменением механических свойств по глубине поверхностного слоя. Введение в состав ферропорошка СЧЛ-1 никеля способствует созданию менее хрупких покрытий по сравнению с покрытиями из ФХБ-1. Этим объясняется разница в износостойкости покрытий из данных ферропорошков. МЭУ со стабилизацией позволяет снизить интенсивность изнашивания для различных марок ферропорошков в 1,17 – 1,21 раза по сравнению с МЭУ по традиционной схеме. Полученные результаты хорошо согласуются с исследованиями микроструктуры и микротвердости покрытий, полученных в условиях стабилизации МЭУ и без нее.

После приработки, в зависимости от марки ферропорошка, коэффициенты трения в порядке увеличения значений располагаются в следующей последовательности:

ФБ6 → ФБХ-6-2 → ФБ-17 → ферробраз-311 → СЧЛ-1 → ФХБ-1 → ФБХ-6-2.

Таким образом, путем подбора материала ферропорошка и режимов упрочнения можно получать покрытия, отвечающие конкретным эксплуатационным характеристикам.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

В.А. Люцко

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

Ударно-абразивному изнашиванию подвергаются многие детали дорожно-строительных, сельскохозяйственных машин, оборудования нефтяной, горнодобывающей промышленности, дробеметных и пескоструйных установок заготовительных цехов машиностроительных заводов. Для повышения износостойкости деталей, работающих в таких условиях, применяются различные методы упрочняюще-восстанавливающих технологий.

В работе исследовалась работоспособность покрытий из ферромагнитных порошков ФБ-10, ФБ-20, ФБХ-6-2, БЧ-2, нанесенных на плоские поверхности образцов из стали 45 магнитно-электрическим методом.

Исследования проводились на специальной установке для ударно-абразивного изнашивания, смонтированной на базе токарно-винторезного станка модели 16К20 (патент ВУ 1066 У, 2003 г.). Образцы испытывали при значениях удельной энергии единичного удара 5...40 Дж/см², интервал измерения которых позволяет наиболее полно проследить картину изнашивания. В качестве абразива применялся кварцевый песок с размерами частиц 0,4...0,8 мм, являющийся основной абразивной составляющей почвы и наиболее часто применяющийся при лабораторных испытаниях.

Анализ результатов испытаний показал, что с увеличением удельной энергии удара пропорционально растет и износ покрытий, причем независимо от марки ферромагнитного порошка. Однако характер изменения кривых изнашивания для покрытий из различных порошков имеет свои особенности. Износ образцов с покрытиями из порошков ФБХ-6-2, ФБ-20 имеет практически линейную зависимость. При удельной энергии удара 14...18 Дж/см² износ резко увеличивается и достигает значений, после которых работоспособность покрытий резко снижается. Износ покрытий из порошков ФБ-10 и БЧ-2 носит несколько другой характер. В начальный период с увеличением удельной энергии до 15 Дж/см² наблюдается интенсивный рост износа, затем интенсивность его снижается. После увеличения энергии удара до критических значений опять наблюдается интенсивный рост износа. Для покрытий из ферромагнитного порошка ФБ-10 критические значения удельной энергии наступают после 22...25 Дж/см², а для покрытий из БЧ-2 – после 30...33 Дж/см².

Нарушение работоспособности ферромагнитных покрытий в условиях ударно-абразивного изнашивания можно объяснить тем, что твердый упрочненный слой, имея относительно небольшую толщину (0,3...0,4 мм), при значительной величине энергии удара вдавливается частицами абразива в пластичное основание и не оказывает уже существенного влияния на износостойкость. Повышенный износ покрытий из порошков ФБХ-6-2 и ФБ-20 объясняется тем, что они являются более хрупкими по сравнению с покрытиями из других порошков. Поэтому увеличение удельной нагрузки или длительности испытаний вызывает хрупкое выкрашивание отдельных фрагментов покрытий, состоящих из твердых боридов железа и хрома, которые могут шаржировать поверхности трения и служить своеобразным дополнительным абразивом.

Таким образом, проведенные исследования показали, что ферромагнитные покрытия обладают удовлетворительной работоспособностью только из порошков ФБ-10 и БЧ-2 и при ограниченных значениях удельной энергии удара.

УДК 62-41:629.7.4:678.06

ПАНЕЛИ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРЕССОВАНИЕМ ПЛАСТИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.П. Ставров, А.Л. Наркевич, А.В. Спиглазов

*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск*

Д.А. Кирсанов, А.А. Пушница

Осиповичский завод автомобильных агрегатов, Республика Беларусь

Ввиду ужесточения экологических и экономических требований к изделиям массового производства, в частности, к транспортным средствам, термопластичные полимеры, армированные волокнами, находят все более широкое применение для изготовления несущих и формообразующих панелей. Наряду с увеличением производства панелей из традиционных уже листовых стеклоармированных термопластов

разрабатываются новые технологии, предусматривающие прямое компаундирование, объединяющее совмещение компонентов и пластикацию композиции, и формообразование изделий непосредственно из получаемого таким образом пластиката. Применение данного метода формообразования изделий (пласт-формования) позволяет расширить возможности получения панелей более сложной геометрии, а также имеющих ребра жесткости, приливы, бобышки, отверстия, закладные элементы и т. п. В работе исследуются характеристики механических и технологических свойств армированных термопластов, получаемых по этому методу, и особенности конструкции формируемых панелей.

Пластины для изготовления образцов и макеты панелей получали из полипропилена, наполненного стекловолокном (до 30 мас.%) и волокнистыми отходами производства изделий из полиэфирных стеклопластиков на основе тканей типа ТР07 путем компаундирования в червячном экструдере и формования в холодной пресс-форме. Определены характеристики упругих и прочностных свойств материала. Вследствие измельчения волокон в процессе пластикации характеристики полученных материалов оказались ниже, чем у листовых стеклоармированных термопластов с длиной волокон 50-100 мм. Чтобы избежать измельчения волокон, приводящего к снижению прочности материала, разработали схемы компаундирования, согласно которым армирующий наполнитель вводится в полимерный расплав, и соответствующие технические средства.

На основе данных о характеристиках технологических свойств пластиката разработаны требования к конструкции и рекомендации по технологии изготовления панелей. Установлена существенная роль вязких свойств пластиката и скольжения на границе пластикат-форма в процессах формообразования. Показана возможность нанесения защитных и декоративных покрытий и пористых слоев непосредственно в процессе формообразования изделий. Определены требования к конструкции соединений панелей с другими элементами. В частности, отработаны параметры перфорационного соединения панелей из армированных термопластов с металлическими панелями.

Оценки экономической эффективности изготовления панелей из армированных термопластов путем прессования пластицированных композиций свидетельствуют о широких перспективах применения данного вида изделий.

УДК 62-5:678.073:678.029.432

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАГРЕВА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЛЕНТ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

О.И. Карпович, В.П. Ставров

*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск*

Соединение (консолидация) слоев и лент из высокопрочных волокнистых композитов с термопластичной полимерной матрицей является одной из важнейших операций при изготовлении изделий методами намотки, укладки, прессования. Режимы консолидации в существенной мере определяют как прочность связи слоев и зависящие от нее эксплуатационные характеристики изделий, так и производительность процесса, и, соответственно, экономическую эффективность применяемой технологии. Для достижения высокой производительности процесса используют нагрев струей горячего газа или лучом лазера. Методы управления этими процессами применительно к консолидации лент из армированных термопластов разработаны

недостаточно. Цель данного исследования – разработка метода управления процессом газопламенного нагрева при соединении лент из армированных термопластов.

Исследован процесс намотки лент из полипропилена, однонаправленно армированного стекловолокном, с нагревом для сплавления струей газовой горелки. Найдена зависимость прочности соединения лент от скорости намотки при варьируемых условиях нагрева и прижатия ленты. На основе анализа теплового режима нагрева и перколяционной модели процесса консолидации введен безразмерный критерий, характеризующий относительную прочность соединения лент и связывающий основные параметры процесса – тепловой поток, температуру T и вязкость расплава матричного полимера, скорость намотки v и давление p в зоне контакта:

$$K_c = \frac{1}{v} \int_0^{x^*} \frac{p^s(x) dx}{\mu^s(T, x)}.$$

Здесь x^* – длина участка, на котором $T(x)$ больше температуры плавления полимера; s – параметр степенного закона течения матричного полимера (μ – коэффициент консистенции; $s = n^{-1}$; n – показатель степени).

С использованием этого критерия и уравнения термоокислительной деструкции матричного полимера рассчитаны границы скоростей намотки, внутри которых при заданном тепловом потоке обеспечивается достаточная прочность соединения лент, а уровень деструкции матричного полимера не превышает допустимых значений. Установлено, что удовлетворительная прочность соединения достигается при значении $K_c^* = (3-4)10^4$, соответствующем степени консолидации $c^* = 0,95-0,97$ при сплавлении лент при постоянной температуре. При этом максимальная температура поверхности наматываемой ленты остается постоянной.

При управлении процессом по предложенному способу обеспечиваются минимальные затраты энергии и наибольшая производительность процесса. Адекватность способа подтверждена по результатам изготовления и испытания колец. Полученные зависимости могут быть использованы для управления процессом высокоскоростной намотки лент с нагревом газовой горелкой.

УДК 62-42:629.7.4:678.06

СТЕРЖНЕВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ, НЕОДНОРОДНО АРМИРОВАННЫХ НЕПРЕРЫВНЫМИ ВОЛОКНАМИ

А.Б. Гоманькова, А.Л. Наркевич, В.П. Ставров

*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск*

Рассматриваются вопросы конструирования и изготовления стержней, получаемых путем армирования термопластичных полимеров непрерывными волокнами, неравномерно размещенными в поперечном сечении.

Практическое применение стержней из армированных термопластов в различных конструкциях обусловлено экологическими и экономическими факторами, но сопряжено с определенными конструктивно-технологическими проблемами. Вследствие высокой вязкости полимерных расплавов ограничены возможности качественной пропитки волокнистых наполнителей с высокой линейной плотностью (больших поперечных сечений). При несовершенной пропитке материал имеет низкую прочность

при сдвиге параллельно волокнам. Из-за низкой теплопроводности и деструкции матричного полимера затруднена консолидация большого числа стренг и лент. В случае недостаточной степени консолидации также снижается прочность при сдвиге, что ограничивает допустимую нагрузку стержней при изгибе и сжатии. Указанные недостатки могут быть преодолены при неоднородном армировании стержней.

Предлагаются схемы армирования стержней с неоднородным по сечению расположением армирующих волокон. Экспериментально определены характеристики упругих, вязкоупругих свойств и прочности термопластичных полимеров (полипропилен, полиамид-6, полиэтилентерефталат), однонаправленно армированных стеклоровингом. Исследуются особенности разрушения материала стержней в различных зонах сечения, обусловленные неоднородной структурой. Показано, что при проектировании оптимальной структуры стержней с неоднородным по сечению армированием необходимо учитывать не только распределение напряжений при действии нагрузок в условиях эксплуатации, но и термоструктурные (усадочные) напряжения в процессе формообразования, ведущие к искривлению стержней. В меньшей мере искривлениям подвержены стержни, в сечениях которых статически уравновешены оба компонента – армирующий наполнитель и матричный полимер. Исследованы условия оптимизации расположения армирующего наполнителя в поперечном сечении стержня, нагруженного изгибающим моментом, с учетом соотношения упругих и прочностных свойств компонентов и получаемых из них стренг и лент.

Разработана экструзионно-пултрузионная технология изготовления стержней из армированных термопластов, неоднородно армированных непрерывными волокнами, необходимые для ее осуществления средства технологического оснащения.

Приводятся примеры конструктивного исполнения стержней из термопластичных полимеров, армированных неоднородно по сечению, применительно к различным условиям эксплуатации. Показана экономическая эффективность неоднородного армирования.

УДК 621.923.044

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОРОШКА НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Е.Н. Демиденко

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

В настоящее время заводы, специализированные на производстве червячных редукторов общего назначения, изготавливают элементы червячной передачи по 7-й или 8-й степеням точности. Изготовление этих передач с более высокой степенью точности связано с необходимостью применения высокоточного дорогостоящего специального оборудования, что резко снижает производительность и делает их изготовление экономически нецелесообразным.

В работе приведены результаты исследований процесса магнитно-абразивного полирования винтовых поверхностей червячных валов.

Исследования проводились на установке, состоящей из магнитно-абразивного модуля, измерительного комплекса и динамометрического устройства, смонтированных на базе токарно-винторезного станка модели 16К20. Экспериментальные исследования давления магнитно-абразивного порошка на обрабатываемую поверхность, в зависимости от скорости резания V_p , подачи V_n , магнитной индукции в ра-

бочем зазоре B и рабочего зазора δ , позволили установить особенности динамики магнитно-абразивной обработки (МАО).

Анализ результатов показал влияние кинематических факторов процесса на давление магнитно-абразивного порошка. Наибольшее влияние оказывает скорость подачи V_n , которая обеспечивает не только перемешивание частиц порошка, но и создает эффект механического заклинивания. Изменение скорости резания V_p незначительно влияет на повышение давления. Установлено, что при увеличении V_p от 0,5 до 3 м/с давление P возрастает с 0,49 до 0,59 МПа, при увеличении V_n от 0,0018 до 0,0058 м/с давление P возрастает с 0,47 до 0,70 МПа.

С увеличением магнитной индукции зависимость $P = f(B)$ становится практически линейной и достигает значения 0,62 МПа при $B = 1,2$ Тл.

Зависимость давления порошка на обрабатываемую поверхность от величины рабочего зазора δ также носит практически линейный характер. С увеличением зазора давление магнитно-абразивного порошка уменьшается и при увеличении зазора более 3 мм приближается к нулю.

Таким образом, проведенные исследования показали, что магнитно-абразивная обработка позволяет повысить технико-экономические показатели изготовления винтовых поверхностей червячных валов с параметрами шероховатости боковой поверхности витка $R_a = 0,32...0,01$ мкм; наиболее благоприятной является индукция магнитного поля 0,5...1,1 Тл; наибольшее влияние на величину давления оказывает величина магнитной индукции B , скорость подачи V_n и величина рабочего зазора δ .

УДК 537.226

ЭЛЕКТРОСТРИКЦИОННАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ПОЛИМОРФНЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Я.О. Шабловский, А.Ю. Струкачѳв

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

Предмет исследования – влияние полиморфизма на электрострикцию монокристаллического материала. Мы ограничимся случаем, когда частота ω деформирующего поля значительно меньше величины, обратной времени релаксации деформации ϵ кристалла, так что взаимодействие деформации ϵ с электрическим полем E можно рассматривать как квазистатическое. Тогда изменение термодинамического потенциала кристалла F , обусловленное, с одной стороны, перестройкой кристаллической решѳтки, претерпевающей полиморфное превращение при температуре $T = T_c$, а с другой, – воздействием внешнего поля, можно представить в виде:

$$F = F_0 + a\epsilon^2/2 + b\epsilon^4/4 - Z_{ij}\epsilon E_i E_j - (k_{\infty})_{ij} E_i E_j, \quad (1)$$

где константы Z_{ij} характеризуют взаимодействие деформации с полем падающей волны и не зависят от частоты и температуры.

Из (1) находим приращение поляризации кристалла:

$$P_j = \partial F / \partial E_j = (\partial^2 F / \partial E_j^2) \delta E_j + (\partial^2 F / \partial E_j \partial \epsilon) \delta \epsilon.$$

При невысоких частотах можно считать, что электроиндуцированные флуктуации $\delta \epsilon$ пропорциональны изменениям внешнего поля, так что $\delta E_j, \delta \epsilon \sim \exp(i\omega t)$

(где t – время), а $P_j = ((k_\infty)_{jj} + \Delta k_{jj}) \delta E_j$, где k_∞ – регулярная составляющая диэлектрической восприимчивости; Δk – её аномальное приращение. Для отыскания зависимости $\delta \varepsilon(\omega, T)$ воспользуемся уравнением Ландау-Халатникова, которое в нашем случае имеет вид:

$$\partial \varepsilon / \partial t = -L^{-1} \partial F / \partial \varepsilon,$$

где L – кинетический коэффициент, слабо зависящий от температуры и частоты. В линейном приближении

$$\partial F / \partial \varepsilon = (\partial^2 F / \partial \varepsilon \partial E_j) \delta E_j + (\partial^2 F / \partial \varepsilon^2) \delta \varepsilon.$$

Тогда $\varepsilon = -Z_j E_j \tau_r L^{-1} (1 + i\omega \tau_r)^{-1}$, где $\tau_r = L(a + 3b\varepsilon_0^2)^{-1}$ – время релаксации деформации;

$$\varepsilon_0 = [a_T (T_c - T) / b]^{1/2}, \quad T \leq T_c;$$

$$\varepsilon_0 = 0, \quad T > T_c.$$

Отсюда $\Delta k_{jj} = Z_j^2 (1 + i\omega \tau_r)^{-1} (a + 3b\varepsilon_0^2)^{-1} E_j$. Представляя, как обычно, $\Delta k_{jj} = \Delta k'_{jj} + i\Delta k''_{jj}$, в итоге имеем:

$$\Delta k'_{jj} = Z_j^2 \tau_r (1 + \omega^2 \tau_r^2)^{-1} L^{-1}, \quad \Delta k''_{jj} = -Z_j^2 (1 + \omega^2 \tau_r^2)^{-1} L^{-1} \omega \tau_r^2.$$

Как видим, в низкочастотном пределе, т. е. при $\omega \tau_r \ll 1$, в области полиморфного превращения будет иметь место резкое возрастание динамической восприимчивости:

$$\Delta k' \sim |T - T_c|^{-1}, \quad \Delta k'' \sim |T - T_c|^{-2}.$$

При этом, однако, следует учитывать, что для сверхнизких частот обусловленное фазовым переходом релаксационное затухание пренебрежимо мало: при $\omega \rightarrow 0$ $\Delta k'' \rightarrow 0$. При увеличении частоты ω , во-первых, возрастает релаксационное затухание электромагнитных волн, а во-вторых, наблюдается все более заметное размывание острых максимумов зависимостей $\Delta k'(T)$ и $\Delta k''(T)$ вследствие возрастания роли дисперсионного множителя $(1 + \omega^2 \tau_r^2)^{-1}$.

УДК 621.88.084

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГЕТЕРОГЕННУЮ ПЛАСТИЧНОСТЬ АМОРФНЫХ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

М.Н. Верещагин, О.М. Остриков

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

Аморфные материалы благодаря своим уникальным физическим свойствам находят все более широкое применение в технике. Их высокая прочность и твердость открывают перспективы применения металлических стекол в качестве конструктивных материалов в машиностроении.

В настоящее время четко установлено, что при больших деформациях в аморфных материалах реализуется негомогенная (гетерогенная) пластичность, которая представлена в виде тонких полос сдвига, в которых и локализована пластическая деформация. Вдоль полос сдвига энергетически выгодно развитие трещин, поэтому поиск путей управления гетерогенной пластичностью аморфных сплавов – актуальная проблема, решение которой позволит повысить прочность металлических стекол.

Целью данной работы стало изучение влияния различных энергетических воздействий на негомогенную пластическую деформацию аморфных сплавов на основе железа.

Исследовали аморфные сплавы: $\text{Fe}_{46.3}\text{--Cr}_{40}\text{--Mo}_{7.2}\text{--V}_{0.5}\text{--B}_{4.0}\text{--Si}_{2.0}$, $\text{Fe}_{81.4}\text{--Cr}_{4.0}\text{--Mo}_{6.0}\text{--Ni}_{5.2}\text{--C}_{1.0}\text{--Mn}_{2.1}\text{--Al}_{0.3}$, $\text{Fe}_{71.7}\text{--Ni}_{6.0}\text{--Co}_{2.4}\text{--Cr}_{7.5}\text{--Mo}_{7.9}\text{--B}_{4.0}\text{--Si}_{0.5}$, $\text{Fe}_{86}\text{--P}_{9.8}\text{--C}_{1.0}\text{--Si}_{0.9}\text{--Al}_{1.7}\text{--B}_{0.6}$ (в вес. %), которые получали методом быстрого охлаждения расплава на наружную сторону медного закалочного диска. Скорость охлаждения ленты составляла $8 \cdot 10^5$ °C/с.

Рентгеноструктурный и рентгенофазный анализы проводились на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматическом CuK_α -излучении. Распределение элементов в аморфных лентах исследовалось с помощью микрорентгеноспектрального анализа с использованием установки Comesa.

Изохронный отжиг производился на воздухе. Аморфная лента при заданной температуре выдерживалась в течение 20 мин. Затем производились испытания сплава. Далее отжиг повторялся, но при более высокой температуре. Максимальная температура отжига составила 700 °C. Изотермический отжиг проводился при температурах 300 и 500 °C. Лазерная обработка осуществлялась с помощью твердотельного лазера с длительностью импульса 10^{-3} с и энергией 4–10 Дж. Использовалась расфокусировка луча. При обработке давлением использовались прокатка, квазистатическое деформирование поверхности, импульсное деформирование. Прокатка осуществлялась на прокатном стане до остаточной деформации лент 10 %. Для квазистатического и импульсного деформирования изготавливался специальный штамп.

Негомогенная пластичность исследовалась методом локального деформирования поверхности.

Установлено, что термическая обработка до 500 °C существенного влияния на негомогенную пластичность не оказывала. При более высоких температурах полосы сдвига у концентратора напряжений не возникали. Время выдержки аморфных сплавов при заданной температуре существенного влияния на негомогенную пластичность не оказывает, определяющим является лишь величина температуры. В точках лазерного воздействия негомогенная пластичность отсутствует. Обработка давлением способствует уменьшению числа полос сдвига в виде полуколец и увеличению количества полос сдвига в виде лучей.

Работа поддержана Фондом фундаментальных исследований РФ (грант Т03-144).

УДК 621.92

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА

М.П. Купреев, В.А. Комаров, Д.Н. Герасенко,
Е.Н. Леонович, Н.Е. Дробышевская

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

В Республике Беларусь абразивные материалы не производятся, а приобретаемые предприятиями абразивные материалы и значительная часть абразивного инструмента импортируются из стран СНГ и обладают недостаточной стойкостью. В связи с этим исследования по отработке процессов изготовления абразивного инструмента повышенной стойкости являются актуальными.

Проведены исследования по отработке режимов изготовления шлифовальных головок типа АW (ГОСТ 2447-82) и кругов типа ПП (ГОСТ 2424-83) твердостью СТ1-СМ3 5...7 структур из порошка электрокорунда белого марки А-25 и электрокорунда легированного марки А-92, а также из вторичного абразивного зерна, полученного из отходов абразивных кругов. Отходы абразивных кругов вначале дробились до размера 5 мм, а затем размалывались в шаровой мельнице.

В результате отсева получали шлифзерна зернистостью 40П, 32П, 25П, 20П и 16П. При этом шлифзерно зернистостью 40П было выделено просеиванием порошка через верхнее сито с размером ячейки 0,8 мм и нижнее сито с размером ячейки 0,4 мм.

Подобраны оптимальные режимы дробления и помола, позволяющие получать до 30 % абразивного зерна зернистостью 40П, до 20 % – 25П, до 15 % – 16П.

В качестве связки применялась керамическая плавящаяся связка К5, обеспечивающая наиболее эффективное связывание белого и нормального электрокорундов. Ее концентрация в экспериментальных головках варьировалась в пределах 1...15 %. Обжиг заготовок проводился в течение 20...30 мин при температуре 1280 °С.

Формирование шлифовальных головок и кругов осуществлялось прессованием на гидравлическом прессе при давлении 100...300 кг/см². Равномерность плотности инструмента по высоте достигалась двухсторонним способом прессования.

Изучено влияние концентрации вводимой связки К5 и давления прессования на твердость и структуру шлифовальных головок из первичного и вторичного абразивов. Установлено, что оптимальным является прессование заготовок при давлении 100...150 кг/см², при этом получается инструмент 5...7 структур. Зависимость твердости инструмента, полученного при этом давлении, от концентрации связки приведена в таблице 1.

Таблица 1

Свойства экспериментальных образцов

Концентрация связки, масс %	3	5	7	9	11	13
Твердость инструмента	М3	СМ1	СМ2	С1	С2	СТ1

Проведены испытания работоспособности экспериментальных шлифовальных головок и кругов ПП в условиях производства на предприятиях г. Гомеля. Установлено, что при обработке шлифовальными машинками штампов, пресс-форм и других закаленных деталей из высокоуглеродистых и легированных сталей У8, У9, 5ХНМ наиболее эффективно работают головки твердостью С2, СТ1. Для деталей из закаленной стали 45 более применимы головки с твердостью С1. Обработку незакаленных сталей следует проводить головками с твердостью СМ2, С1.

УДК 644:546.284-31

SOL-GEL PROCESSING ROUTE FOR THE PREPARATION OF DIFFERENT LANTHANUM ALUMINATES

D. Jasaitis, A. Leleckaite, A. Kareiva

Vilnius University, Vilnius, Lithuania

The development of innovative multi-functional advanced materials should have a major impact in future applications. Ceramics based on $\text{La}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ combination are promising materials for optical, electronic and structural applications. Garnets of type $\text{La}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (LAG) and perovskite aluminates LaAlO_3 (LAP) could be of special industrial interest, due to their application as laser hosts.

Nanocrystalline lanthanum aluminate (LaAlO_3), Sr-substituted LAP ceramics ($\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{AlO}_{3-\delta}$; $\text{La}_{0.50}\text{Sr}_{0.50}\text{AlO}_{3-\delta}$; $\text{La}_{0.25}\text{Sr}_{0.75}\text{AlO}_{3-\delta}$), $\text{La}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ and $\text{Nd}:\text{La}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ samples were synthesized by sol-gel processes using mixtures of inorganic salts of the respective elements. The gels were prepared using stoichiometric amounts of analytical-grade $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ and Nd_2O_3 as starting materials. The metal ions, generated by dissolving metal nitrates or acetates in acetic acid and/or water were complexed by 1,2-ethanediol to obtain the precursor for LAG and LAP.

To obtain nanocrystalline lanthanum-aluminum garnet ceramics the precursor gels were calcined for 10 h in air at various temperatures (800-1000 °C). The X-ray diffraction patterns showed that the powders remain essentially amorphous to X-rays for calcination temperatures of up to 800 °C. The pattern for the product obtained at 800 °C only indicated an unidentified several amorphous humps between $2\theta = 30\text{-}40^\circ$ and $2\theta = 55\text{-}65^\circ$. When heated above 800 °C, samples fully crystallize, and the obtained phases depend on synthesis temperature. Surprisingly, by 900 °C crystalline LaAlO_3 had begun to form as a major phase, although the peaks at 2θ values of 30.8° and 43.5° indicate the coexistence of impurity phases. Sintering at 1000 °C produced fully crystallized single-phase perovskite lanthanum aluminate, and no traces of $\text{La}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ have formed. It is interesting to note, that further heat treatment in the range 1000-1500 °C indicated that no phase transformations have been observed. The XRD patterns of the products obtained by heating $\text{Nd}:\text{La-Al-O}$ acetate-nitrate-glycolate gels were found to be almost identical to those of undoped samples. Therefore we can conclude that by heat treatment of the precursor gel powders at 1000 °C the formation of mixture of $3\text{LaAlO}_3 : \text{Al}_2\text{O}_3$ (alumina possibly amorphous) instead of the single $\text{La}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ garnet phase occurs. The XRD patterns of the LaAlO_3 and $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{AlO}_{3-\delta}$ ($x \leq 0.50$) ceramic sintered at 1000 °C, however, were almost identical with the perovskite LAP composition.

From the present study it might be concluded that the obtained homogeneous gels in the $\text{La}(\text{Sr})\text{-Al-O}$ system achieved by complexation of metal ions with 1,2-ethanediol following controlled hydrolysis in an aqueous media could be successfully used for the low-temperature synthesis of nano-scaled lanthanum aluminate (LAP, LaAlO_3) and strontium

substituted lanthanum aluminum ($\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{AlO}_{3-\delta}$) ceramics. The present study demonstrates the versatility of the solution method to yield monophasic LAP sample at low sintering temperature (1000 °C) when compared to the temperature required for the solid-state synthesis (>1400-1600 °C). Moreover, the proposed sol-gel method of preparation of LAP in aqueous media is inexpensive and thus appropriate for the large scale production of such type ceramics. Ultrafine particles of different crystallite dimension (from ~500 nm to 25 μm) can be formed in 10 h at 1000 °C.

We have also demonstrated that using the same sol-gel approach the synthesis of $\text{La}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ and $\text{Nd}:\text{La}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ garnet samples is problematic. The heat treatment of the precursor La(Nd)-Al-O gel powders at the same temperature (1000 °C) leads to the formation of mixture of $3\text{LaAlO}_3 : \text{Al}_2\text{O}_3$ instead of the single LAG phase.

УДК 621.821: 621.316

САМООРГАНИЗАЦИЯ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ

С.В. Короткевич, С.М. Мартыненко, В.В. Кравченко, М.В. Парамонов

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

Известно, что под самоорганизацией трибосистемы понимается наличие обратной связи, посредством которой трибосистема подстраивается под изменение внешних, как правило, нагрузочно-скоростных факторов. Смазочный материал является неотъемлемой частью трибосистемы. Основная функция смазочного материала – эффективное снижение энергетических потерь при трении контактируемых тел. Сохранение смазочной способности ГСС и изучение механизмов его самоорганизации при жёстких нагрузочно-скоростных режимах испытаний является одним из основных условий его эксплуатационной надежности.

Были разработаны четырехпроводные электрические схемы и методики электрофизического зондирования, позволяющие проводить испытания в широком диапазоне скоростей и нагрузок. Оценивалась противозадирная стойкость смазочных материалов на машине трения СМТ-1 по схеме вал – частичный вкладыш. Регистрация электрической проводимости, момента трения, нагрузки, температуры осуществлялась синхронно при помощи АЦП на ЭВМ в режиме реального времени. В качестве модельной среды смазочных материалов использовалось инактивное вазелиновое масло (ВМ).

Установлено, что при ступенчатом увеличении контактных нагрузок в области до 300 Н одновременно регистрировалось ступенчатое снижение уровня контактного сопротивления (R_c), что обусловлено утонением толщины физически адсорбированного смазочного слоя. После снижения уровня контактного сопротивления на каждой ступени нагрузки затем отмечалось его увеличение в режиме реального времени. При фиксированной нагрузке наблюдался осциллирующий во времени равновесный процесс формирования и разрушения физически адсорбированного смазочного слоя. Дальнейшее ступенчатое увеличение нагрузки привело к синхронному ступенчатому увеличению R_c . Изменение характера зависимости R_c от нагрузки обусловлено окислением ВМ и структурными изменениями ГСС. Установлено, что в результате ужесточения нагрузочного режима испытания смазочного материала происходят структурные изменения ГСС, приводящие к его самоорганизации, в результате которой прочностные свойства его повышаются, а антифрикционные несколько снижа-

ются. Дальнейшее увеличение нагрузки приводило к рассогласованию процесса формирования и разрушения хемосорбированного смазочного слоя, о чем свидетельствовало снижение уровня контактного сопротивления, хотя коэффициент трения при этом не изменялся. Снижение R_c до уровня расчетного сопротивления стягивания означало разрушение хемосорбированного слоя, а также оксидной пленки и появление металлического контакта между сопряженными поверхностями. Нарушение сплошности хемосорбированного слоя приводило к заеданию и задиру поверхностей трения, сопровождающимся локальным во времени интенсивным износом сопряженных тел. Таким образом, экспериментально установлено, что ГСС инертного вазелинового масла при жестких нагрузочных режимах испытаний в результате структурных преобразований способен к самоорганизации.

УДК 621.793.092

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ С УТОНЕНИЕМ И БЕЗ УТОНЕНИЯ ОСНОВЫ

Н.И. Стрикель, М.И. Лискович

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

Целью работы является определение неизвестных закономерностей изменения плотности и пористости покрытия получаемого совместной вытяжкой покрытия и основы при варьировании величины обжатия материала покрытия для прогнозирования и достижения требуемых свойств изделий.

Для экспериментального исследования процесса был использован штамп с набором сменных пуансонов диаметром 17; 18,2; 19; 19,5 мм и матрицей диаметром 22 мм. Измерение усилия вытяжки проводилось на универсальной испытательной машине Р-50. Плотность спечённых образцов определялась по ГОСТ 18898-89 методом взвешивания их на воздухе и в воде.

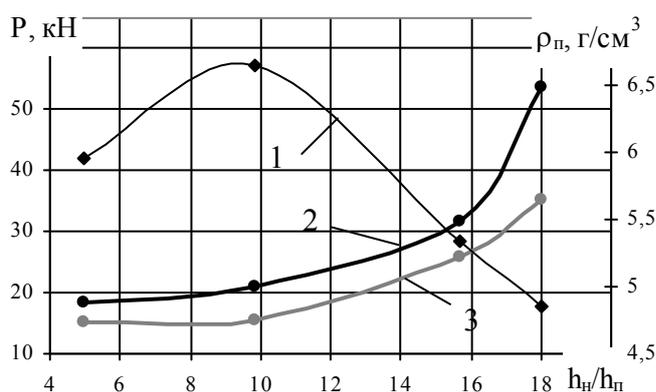


Рис. 1

На рис. 1 показана зависимость значения плотности покрытия 1, полученного при втором переходе вытяжки, величины усилия совместной вытяжки 2 и вытяжки основы 3 от относительного обжатия полых листовых заготовок из стали 08 кпВГ совместно с порошком, содержащем 0,4 % стеарата цинка, 3 % омеднённого графита и 96,6 % порошкового железа и последующего спекания при температуре 950 °С в течение 30 минут в защитной среде.

Зависимость имеет нелинейный характер. Максимальные значения плотности покрытия достигаются при относительном обжатии $h_n/h_n = 8...10$. При дальнейшем увеличении величины обжатия плотность покрытия уменьшается. Это может быть

объяснено тем обстоятельством, что в интервалах относительного обжатия от 4 до 10 толщина стенок основы менялась незначительно. В этом случае можно утверждать, что вытяжка основы шла без утонения стенок, при больших значениях имело место заметное утонение стенок основы. Переход от вытяжки без утонения стенок к вытяжке с утонением существенно меняет напряженное состояние в материале основы: из плоского напряженного оно переходит в объемную схему с двумя главными напряжениями сжатия и одним – растяжения. Меняется и характер деформации материала основы, так как уменьшение толщины стенок приводит к интенсивному удлинению волокон металла в направлении главного напряжения растяжения и можно предположить, что при вытяжке без утонения стенок основы обжатие материала покрытия происходит постепенно до его входа в зазор между пуансоном и матрицей, причем в сам момент входа в зазор существенного скачка давлений или относительного смещения материала основы не происходит. Решающее значение играют сжимающие напряжения, действующие на материал покрытия со стороны основы и со стороны пуансона, а сдвигающие напряжения на границах «основа – покрытие» и «покрытие – пуансон» не играют главенствующей роли.

Значительное увеличение нормальных напряжений сжатия и касательных напряжений сдвига на границе между основой и материалом покрытия при входе в зазор в случае вытяжки с утонением, в особенности рост сдвигающих напряжений, может объяснить полученный экспериментально характер изменения относительной плотности с увеличением величины обжатия порошка.

УДК 678.019

ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ НА АТМОСФЕРОСТОЙКОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Т.И. Александрова, В.П. Русов, Л.А. Кенько

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

Л.С. Корецкая

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

А.П. Крысин

*Новосибирский институт органической химии
имени Н.Н. Ворожцова РАН, Россия*

Полимерные пленки и покрытия достаточно широко используются для защиты от коррозии машин, приборов и механизмов, работающих на открытом воздухе. В связи с этим не снижается актуальность повышения стойкости полимерных материалов к воздействию агрессивных факторов атмосферы и, тем самым, обеспечения надежности и долговечности работы машин.

Целью данной работы было исследование влияния некоторых замещенных фенолов, таких как калексарен и агидол и их смеси, синтезированных Новосибирским институтом органической химии имени Н.Н. Ворожцова РАН, на атмосферостойкость полиэтилена.

Исследования проводили на пленочных образцах толщиной 150...200 мкм, полученных методом горячего прессования при температуре 493 К и давлении 5 МПа из порошкообразного полиэтилена низкого давления, не содержащего стабилизи-

рующих веществ. Старение пленок проводили по ускоренному режиму в камере искусственной погоды при воздействии температуры $+(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и ультрафиолетового излучения в диапазоне $\lambda = 240 \dots 320$ нм при интенсивности 68 Вт/м^2 , а также в низкотемпературной установке при $-(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$. В процессе испытаний контролировали изменение прочностных характеристик пленок: прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве (ГОСТ 14236-86), эластичности при изгибе (ГОСТ 6806-73).

Определены оптимальные соотношения стабилизатор – полимер, дающие наибольший эффект. Исследована кинетика изменения прочностных свойств стабилизированных и нестабилизированных пленок. Установлено, что стойкость к воздействию атмосферных факторов полиэтиленовых пленок, стабилизированных исследуемыми продуктами, в 5...6 раз выше, чем нестабилизированных.

Исследованные продукты могут применяться для термо- и светостабилизации полиэтиленовых пленок и покрытий, эксплуатирующихся в условиях климата Беларуси и средней полосы России в течение не менее 3-х лет.

УДК 621.792

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ И ДЕГРАДАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

Н.И. Тишков, Н.С. Винидиктова

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

В.М. Винидиктов

*Республиканское конструкторское унитарное предприятие
«Государственное специализированное конструкторское бюро
по зерноуборочной и кормоуборочной технике»,
г. Гомель, Республика Беларусь*

С.С. Слуцкий

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

Увеличение долговечности полимерных покрытий (ПП) является актуальной научной и практической задачей, конечной целью которой является повышение надежности машин в различных областях техники. В настоящей работе предлагается нетрадиционное решение такой задачи – термообработка ПП из термопластов (полиэтилен, полиамид, фторопласт) на металлах (Cu, Fe, Al) в условиях вакуума ($10\text{-}10^{-5}$ Па).

Вакуум, как технологическая среда формирования ПП, таит в себе много нераскрытых возможностей, о чем, в частности, свидетельствуют данные настоящего исследования. Низкое парциальное давление кислорода практически сводит к нулю его окислительное действие на ПП, а снижение общего давления резко интенсифицирует дегазацию материалов. Эти два обстоятельства в совокупности становятся определяющими для свойств вакуумных ПП. С увеличением степени вакуума и выдержки при заданной температуре прогрессивно возрастают прочность на разрыв и твердость ПП (на 15-50 %), несколько уменьшается их деформативность (на 5-14 %). Позитивные изменения свойств ПП, полученных в вакууме, связаны с образованием однородной и мелкокристаллической структуры в объеме ПП. В связи с этим в $2\div 2,5$ раза увеличивается время жизни ПП под воздействием климатических фак-

торов. Примерно в таком же отношении уменьшаются потери вакуумных ПП на трение и износ.

Адгезия вакуумных ПП к металлам, характеризуемая величиной сопротивления расслаиванию, определяется в основном поверхностным состоянием металла. Обнаружено аномальное снижение прочности адгезионных соединений ПП с металлами (Cu, Fe), проявляющими способность к очистке от поверхностных оксидных пленок при термообработке в вакууме. Напротив, для металлов с высокой теплотой образования оксидов (Al) адгезия вакуумных ПП характеризуется сравнительно высокими значениями и стабильностью.

Длительное (за пределами технологической целесообразности) пребывание ПП в расплаве в условиях вакуума вызывает деградацию ПП. Процесс деградации может быть представлен, как кипение высоковязкого расплава полимера при низком абсолютном давлении внешней среды, что вызывает эрозию свободной поверхности ПП и непрерывное снижение их массы. В связи с этим поставлен вопрос о периоде полураспада полимера, как характеристике времени жизни ПП в условиях вакуума.

УДК 621

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ И КОЛИЧЕСТВА НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Н.В. Друзик, М.М. Рыженко

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

Необходимость получения эпоксиполимеров с различными показателями обусловлена разнообразием видов изделий и условий их эксплуатации. Для обеспечения возможности направленно регулировать свойства покрытий на основе эпоксидных смол, необходим круг исследований по выбору эффективных модификаторов и наполнителей, установлению взаимного влияния природы компонентов, их соотношения на параметры процесса отверждения, структуру и свойства материала.

Цель работы: исследование адгезионной прочности эпоксидных композиций (ЭК) с твердой поверхностью в зависимости от ее микрорельефа и количества вводимого дисперсного наполнителя.

Объект и методика исследований: эпоксидная смола ЭД-20, дисперсные наполнители (аэросил, графит, металлический порошок ПЖР), отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА). Содержание эпоксидной смолы во всех материалах составляла 100 масс.ч., содержание наполнителя – 15, 40, 55, 70 масс.ч. Образцы (Ст.3) размером 50×20×1 мм подвергались различным видам механической обработки: полировке $Ra = 0,29678 \div 0,40708$ мкм; шлифовке $Ra = 3,63816 \div 7,092967$ мкм, токарной и пескоструйной обработке $Ra = 0,36642 \div 16,51579$ мкм.

Результаты исследований и их обсуждение: экспериментальные данные по адгезионной прочности к стали эпоксидных композиций с различным содержанием и природой наполнителей показали, что отдельное их введение в ЭК (содержание наполнителя от 15 до 40 масс.ч.) приводит к незначительному ее повышению (6,5-23,5 Н/см²). Однако, рассматривая композиции с содержанием наполнителя более 40 масс.ч. наблюдается значительное увеличение адгезионной прочности, причем вплоть до 70 масс.ч. (18,46-34,6 Н/см²). Одной из причин этого повышения может быть селективная адсорбция низкомолекулярных фракций из объема связующего на поверхности наполнителя.

Однако необходимы дальнейшие исследования по выбору наполнителей и их предельного содержания в композиции.

Исследования зависимости адгезионной прочности от шероховатости поверхности показали, что наличие на поверхности канавок при шлифовании повышает адгезионную прочность по отношению к образцам с полированной поверхностью (соответственно для полированной и шлифованной – 23,5 Н/см² и 26,9 Н/см²) за счет проникновения полимера в поры и трещины и механического закрепления при отверждении, но шлифованные поверхности «уступают» опескоструенным. Это можно объяснить тем, что при растекании вязкой эпоксидной композиции по шлифованной поверхности происходит защемление воздуха в канавках и микродефектах, которое приводит к пористости и снижению адгезии при затвердевании покрытия. Наибольшей адгезионной прочностью покрытий наблюдается на опескоструенных образцах (соответственно для полированной и опескоструенной – 23,5 Н/см² и 34,6 Н/см²).

Следовательно, адгезионные свойства покрытия зависят от количества и природы наполнителей, которые влияют на структуру, степень сшивки и гибкость цепей макромолекулы в эпоксидной композиции, а также меняя соотношение которых можно определить эпоксидную композицию с наилучшими механическими свойствами. Полученные результаты являются экспериментальным доказательством возможности влияния на адгезионное взаимодействие, не прибегая ни к модификации связующего, ни к модификации поверхностей, на которые наносится полимерное покрытие.

УДК 669. 041

ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.М. Валицкая

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

Тепловая обработка дисперсных материалов, например, песка, чугуновой и алюминиевой стружки, полимерных гранул, агломерата и др. достаточно широко распространена в технике. Нагрев подобных материалов имеет существенные отличия от нагрева твердых сплошных тел. Теплопроводность слоя ($\lambda_{сл}$) зависит от физико-химических свойств компонентов, от их укладки, порозности слоя и др. Величина $\lambda_{сл}$ на несколько порядков ниже теплопроводности компонентов. Эффективность установок для обработки неподвижного непродуваемого слоя сыпучих материалов (в камерных печах) крайне низка. Например, для металлической стружки термический КПД составляет не более 12-15 %. Наблюдается высокая неравномерность нагрева в слое: $\text{grad } t \geq 5 \cdot 10^3 \text{ К/м}$. При нагреве неподвижного продуваемого слоя (в шахтных печах, установках подогрева шихты) распространение тепла определяется не столько теплопроводностью слоя, сколько конвекцией. Уравнение нестационарной теплопроводности можно представить в виде:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{(\alpha \times d_3) d^2 t}{c\rho dx^2}, \quad (1)$$

где α – объемный коэффициент конвективного теплообмена в слое; d_3 – эквивалентный размер пор. Тепловая обработка в газозвеси происходит с $\alpha \approx 10^3 \text{ кВт/м}^3\text{К}$, а при нагреве в слое того же материала $\alpha \approx 0,1-0,3 \text{ кВт/м}^3 \text{ К}$. Соответственно резко сокращается время нагрева и повышается КПД. Уравнение нестационарной теплопроводности может быть представлено в виде (1). Но в этом случае d_3 – приведенный размер частиц. Такой

нагрев приемлем для монодисперсных материалов. При термообработке полидисперсных материалов в псевдооживленном слое некоторые частицы будут уноситься из печи, некоторые – осаждаться и накапливаться на днище. Нагрев полидисперсных материалов в барабанных вращающихся печах сочетает слоевой и конвективный принципы, при ТКПД около 30 %. Эффективность достигается в основном за счет увеличения габаритов рабочей камеры печи, а, следовательно, увеличения длительности пребывания материала в рабочей зоне. Скорость теплоносителя не может превышать скорость витания частиц, поэтому поток, практически, не участвует в дроблении комков материала.

С целью обеспечения эффективной тепловой обработки полидисперсных материалов разработана ротационная установка периодического действия нового типа (патент № 1424 от 1.03.04), имеющая интенсивность теплообмена, приближающуюся к нагреву псевдооживленного слоя. Поток теплоносителя, подаваемому в печь, придается вращательное движение, причем скорость (ω) задается такой величины, чтобы способствовать динамическому дроблению комков. Скорость потока выбирается из условия:

$$\omega \geq \left(\frac{gD}{Fr_{кр}} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

где D – характерный размер падающего слоя; $Fr_{кр}$ – критическое число Фруда.

УДК.681.5.09

ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ю.Е. Обжерин, Е.Г. Бойко

Севастопольский Национальный технический университет, Украина

Одна из важнейших задач теории надежности – своевременное обнаружение отказа функционирования технической системы. Излагаемые в современной литературе математические модели процессов, связанных с вопросами контроля, построены, в основном, для экспоненциального и равномерного распределений наработки на отказ и времени включения приборов контроля.

В данной работе рассмотрен процесс контроля-восстановления технической системы с функциями распределения общего вида времени безотказной работы системы и интервалов между включением приборов контроля, для которого построены математические модели с использованием полумарковского процесса с пространством состояний общего вида.

Одной из основных проблем при моделировании технических систем является большая размерность построенного пространства состояний. Для решения этой проблемы в теории полумарковских процессов разработан эффективный аппарат алгоритма фазового укрупнения, позволяющий значительно упростить вычисления и получить характеристики систем с достаточной степенью точности.

В данной работе получены формулы для определения основных стационарных характеристик надежности технической системы. Они являются результатом решения системы интегральных уравнений, при решении которой было найдено стационарное распределение вложенной цепи Маркова.

Применение полученных формул позволило проанализировать влияние различных режимов проведения контроля на надежность технической системы для раз-

личных функций распределения времени наработки на отказ и функций распределения интервалов времени между включением приборов контроля.

Полученные результаты могут быть использованы при решении задач нахождения оптимального периода проведения контроля для различных законов распределения параметров системы.

Л и т е р а т у р а

1. Мозгалецкий А.В., Койда А.Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 110 с.
2. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
3. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. – К., 1982. – 236 с.

УДК 620.22-419:539.3

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Банный, В.Ф. Хиженок

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

Радиопоглощающие композиционные материалы (РПМ) являются одним из средств решения проблем электромагнитной безопасности и экологии. Эффективность поглощения и рассеяния этими материалами энергии электромагнитного излучения СВЧ-диапазона обеспечивается введением в полимерную матрицу функциональных наполнителей заданной дисперсности. С другой стороны, размеры частиц функционального наполнителя и сила их адгезионного контакта с полимерным связующим определяют прочностные характеристики композита.

Целью работы являлось сравнительное исследование механических характеристик образцов композиционных РПМ на основе высоконаполненных термопластов, предназначенных для изготовления конструкционных изделий.

Механические испытания проводили на разрывной машине Instron 5567 при постоянной скорости движения нагружающего зажима 50 мм/мин.

Экспериментальные образцы РПМ в форме двойных лопаток (ГОСТ 11262-80) изготавливали литьем под давлением из смеси порошкообразного ПЭВД (марки 16803-070, ТУ 6-05-1866-78) и магнитно-мягкого марганец-цинкового феррита (ММФ) (ТУ 6-09-5111-84, марка 2500 НМС) различной дисперсности: фракции 63-100 мкм и 160-200 мкм (степень наполнения 50 % масс). Аналогичные образцы формировали из композитного гранулята ПЭВД (ГОСТ 16337-77) и ММФ с размером частиц менее 50 мкм (степень наполнения 40 % масс). Гранулируемая смесь подвергалась жестким термомеханическим воздействиям в процессе ее переработки на двухшнековом экструдере.

Установлены зависимости «напряжение – деформация» при растяжении образцов. Определены механические характеристики материалов: разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение при разрыве, модуль упругости при растяжении и др. Для композиционных образцов первой и второй групп максимальная деформация при разрыве составила 36,1 и 16,1 %; максимальное напряжение – 16,5 и 46,4 МПа; модуль упругости – 198,1 и 1106,8 Мпа, соответственно.

Наполнение полиэтилена функциональными наполнителями различной дисперсности приводит к снижению его деформационно-прочностных показателей при растяжении. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем больше размер частиц наполнителя.

Модуль Юнга наполненных образцов первой группы выше, чем у исходного связующего, образцов второй группы – ниже.

Отрицательное влияние на механические характеристики материалов оказывает увеличение температуры и длительности экструзионной переработки полимерных смесей. Для образцов второй группы, подвергшихся жестким термомеханическим воздействиям в процессе переработки на двухшнековом экструдере, пневмоэкструзионной установке и при термоформовании, наблюдается 2-кратное снижение значений разрушающего напряжения и максимальной деформации при разрыве по отношению к образцам, подвергшимся переработке только в двухшнековом экструдере.

Полученным результатам дано теоретическое объяснение.

СЕКЦИЯ Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

УДК 658.512.011.56

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Д.Н. Свирский, А.С. Фирсов

*Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет», Республика Беларусь*

Наименее исследованной частью теории автоматизации проектирования в машиностроении остаются начальные этапы создания наукоемких изделий, т. е. этапы их концептуального проектирования. Концептуальное проектирование включает стадии формирования технического задания и технического предложения и охватывает этапы формирования потребности в изделии, его технической функции и функциональной структуры. Формирование функций обеспечивает выбор адекватных им структурных реализаций.

Под функцией традиционно понимается способность системы при определенных условиях преобразовывать входную величину в требуемую выходную. Техническая функция (главная функция) определяется служебным назначением проектируемого изделия. В свою очередь, она имеет определенную иерархическую структуру и подразделяется на внешние и внутренние функции, которые будет реализовывать проектируемое оборудование. В качестве внешних функций принимаются потребительские (функциональные) свойства проектируемого оборудования. Внешние функции являются входными директивными данными для внутренних функций. Внутренние функции определяют структуру проектируемого объекта и подразделяются на основные и вспомогательные. При формировании внутренней функциональной структуры определены следующие условия: 1) в качестве основных функций принимаются функции, обеспечивающие формообразующие движения и ориентацию структурных объектов в пространстве; 2) в качестве вспомогательных функций принимаются функции, обеспечивающие повышение качества выполняемых основных функций и дополнительное расширение технических реализаций функционально-компонентного состава.

На основе разработанной функциональной структуры формируется функционально-структурная модель проектируемого изделия. При ее построении между группами функций определяются их координация и субординация. Таким образом, формируется взаимосвязь исполнительных органов, реализующих соответствующие функции.

На базе функционально-структурной модели осуществляется построение структурной модели, которая определяется набором исполнительных органов и взаимосвязью между ними. Последующая оптимизация структурной модели осуществляется аппаратом функционально-стоимостного анализа.

Для сквозной автоматизации всего процесса: от формирования функциональной структуры до оптимизации структурной модели проектируемого технологического оборудования используется единая тензорная методология.

УДК 681.3:621.91

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В.Л. Жога

Брянский государственный технический университет, Россия

Конструкторско-технологическая классификация деталей общемашиностроительного назначения широко используется при технологической подготовке производства для анализа и группирования номенклатуры деталей по конструктивно-технологическим признакам с последующей разработкой типовых групповых технологических процессов и операций. В результате конструкторско-технологической классификации каждой детали присваивается классификационный код. Система кодирования деталей должна обеспечивать однозначность присвоенного каждой детали определенного кодового обозначения, а также иметь возможность расширения множества деталей, подлежащих кодированию, без нарушения системы кодирования.

Была разработана методика и общий алгоритм для классификации деталей общемашиностроительного назначения. Для выполнения процесса классификации было предложено использовать методы кластерного анализа с использованием самоорганизующихся нейронных сетей как наиболее перспективное направление исследований в данной области [1, 2, 3].

Рассмотрим некоторое множество деталей, каждая деталь из которого описывается набором признаков. Необходимо разбить данное множество деталей на попарно непересекающиеся группы (классы), число которых конечно.

Информация о детали представляется в виде вектора конструкторско-технологических признаков, как наиболее полно и достоверно отвечающее требованиям нейросетевого моделирования. Признаки деталей могут быть получены посредством анализа ее твердотельной модели и чертежа на основе стандартов STEP или IGES.

На входы нейросети подаются вектора конструктивно-технологических признаков деталей. После нормализации входных векторов при активации сети вектором X в конкурентной борьбе побеждает один из нейронов выходного слоя, веса которого в наименьшей степени отличаются от соответствующих компонентов этого вектора. Таким образом, нейрон-победитель выходного слоя определяет класс детали, изображение которой было подано на входы нейросети. Если каждому классу в процессе обучения сети присвоить классификационный код, то после этого при подаче на входы нейронной сети вектора признаков неизвестной детали, сеть будет способна определить ее код.

На основании предложенного алгоритма был разработан универсальный программный комплекс конструкторско-технологической классификации деталей с использованием самоорганизующейся нейронной сети Кохонена.

Работа предлагаемой системы была проверена на примере определения классификационного кода деталей общемашиностроительного назначения 71 класса по классификатору ЕСКД.

Л и т е р а т у р а

1. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. – М.: Статистика, 1977. – 249 с.
2. Ф. Уоссермен. Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир, 1992.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации /Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.: ил.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИИ СКИДДЕРОВ

В.А. Симанович, Д.В. Клоков, В.А. Демидов, С.Н. Пищов

*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск*

При решении многих задач прикладного характера в качестве расчетной динамической модели используется твердое тело или система твердых тел, подверженных действию внутренних и внешних факторов. Исследования таких динамических систем в целостности и отдельно даже при условии высокой разрешающей способности вычислительных комплексов невозможно провести с высокой степенью точности расчетов. В то же время разработанные методы имитационного моделирования и статистической динамики, основанные на использовании электронно-вычислительных средств, позволяют при достаточно полном математическом описании динамических процессов в узлах и агрегатах колесного трелевочного трактора, прогнозировать вероятностную нагруженность, а с ней и долговечность основных узлов и деталей базовой машины и технологического оборудования.

В нашем случае рассматривается трелевочный трактор с колесной формулой 4К4. На основании принципов теории статистической динамики первоначально проведено упрощение математической модели колесной трелевочно-транспортной системы к виду, удобному для определения параметров конкретной машины и составления дифференциальных уравнений, отражающих процесс движения.

Нагруженность трансмиссии от воздействия микропрофиля трелевочного волога определялась спектральной плотностью крутящего момента, приложенного к полуосям. Спектральная плотность возмущающего момента колес определялась:

$$S_{mk}(\omega) = \gamma^2 \cdot (C_{uu}^y)^2 \cdot |W_f(i\omega)|^2 \cdot S_q(\omega).$$

Передачная функция выхода для одномассовой системы с учетом деформации шин определялась по формуле

$$W_f(i\omega) = \frac{M \cdot \omega}{M \cdot \omega^2 + b_{uu} \cdot \omega + c_{uu}}.$$

Спектральная плотность возмущения в трансмиссии с учетом приведения ее параметров передаточных чисел к двигателю находилась:

$$S_{mp}(\omega) = |M_{mt}(i\omega)|^2 \cdot S_{mk}(\omega) \cdot \frac{1}{r^2}.$$

Величина спектральной плотности нагружающего момента на полуоси определялась:

$$S_n(\omega) = |W_{mn}(i\omega)|^2 \cdot S_{mk}(\omega) \cdot \frac{1}{i_{кр}^2}.$$

Приведенные зависимости позволили получить в параметрическом виде изменения спектральных плотностей для всех скоростей трех диапазонов трактора ЛТ-171А. Максимумы спектральных плотностей крутящих моментов для передних

полуосей проявляются на частотах $12,6 - 13,3 \text{ с}^{-1}$, а для задних полуосей – на частотах $16,2 - 16,5 \text{ с}^{-1}$.

По параметрам нагрузочного режима колесного трелевочного трактора с учетом кривой усталости определялся средний ресурс работы деталей трансмиссии.

Использование приведенной методики позволяет в последующем производить расчет элементов трансмиссии на усталостную долговечность, прогнозировать их сроки службы в эксплуатационных условиях.

УДК 629.113-585

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ДОТРАНСФОРМАТОРНОМ УЧАСТКЕ ТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

А.В. Радич, Б.У. Бусел

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Для моделирования крутильных колебаний дотрансформаторного участка трансмиссии карьерного самосвала и расчета нагрузочного режима динамическая модель должна с достаточной точностью отражать формы колебаний с частотами до 500 Гц. Известные математические модели рассматривают двигатель в виде одной сосредоточенной массы, к которой прикладывается суммарная реализация крутящего момента. Частотный диапазон таких моделей обычно не превышает 100 Гц, поэтому в динамической системе для моделирования колебаний, вызываемых двигателем внутреннего сгорания, двигатель должен быть представлен в виде многомассовой крутильной колебательной системы. Количество инерционных элементов такой системы должно обеспечить достаточно точное восприятие низшей формы колебаний системы коленчатого вала (130–180 Гц). Для двигателя ЯМЗ–845 такая система должна состоять минимум из трех масс (рис. 1).

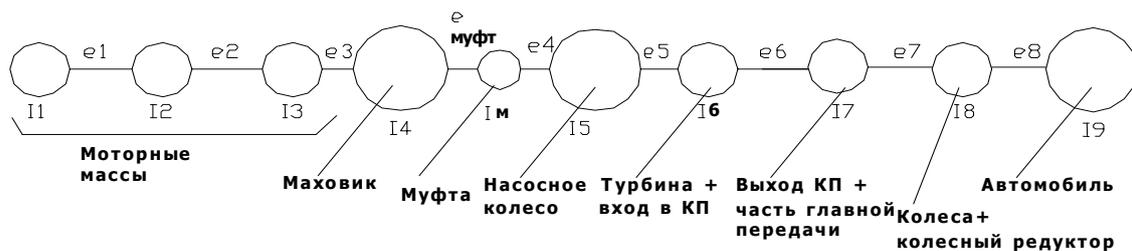


Рис. 1. Динамическая модель трансмиссии карьерного самосвала для расчета крутильных колебаний, вызываемых двигателем внутреннего сгорания (I1, I2, I3, I4, Iм, I5, I6, I7, I8, I9 – приведенные моменты инерции масс e_i – податливости упругих звеньев)

Система дифференциальных уравнений движения данной модели:

$$J_1 \varphi''_1 + M_1 - M_{d1} = 0;$$

$$J_2 \varphi''_2 - M_1 + M_2 - M_{d2} = 0;$$

$$J_3 \varphi''_3 - M_2 + M_3 - M_{d3} = 0;$$

$$\begin{aligned}J_4 \varphi''_4 - M_3 + M_4 &= 0; \\J_m \varphi''_5 - M_4 + M_5 &= 0; \\(J_5 + J_6) \varphi''_6 - M_5 + M_6 &= 0; \\J_7 \varphi''_8 - M_6 + M_7 &= 0; \\J_8 \varphi''_9 - M_7 + M_8 &= 0; \\J_9 \varphi''_{10} - M_8 + M_f \operatorname{sign}(\varphi'_9) &= 0; \\M_6 &\leq M_{\varphi 1}; M_8 \leq M_{\varphi},\end{aligned}$$

где J_i – приведенные моменты инерции соответствующих сосредоточенных масс; φ_i – обобщенные координаты; M_{d1}, M_{d2}, M_{d3} – эквивалентные крутящие моменты, приложенные к 1, 2 и 3 сосредоточенной массе соответственно; $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8$ – крутящие моменты на 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 звеньях соответственно; $M_{\varphi 1}$ – момент трения многодискового фрикциона коробки передач; M_{φ} – момент сцепления ведущих колес с дорогой; M_f – момент сопротивления движению автомобиля.

Для формирования возмущающего воздействия от двигателя внутреннего сгорания был создан алгоритм, по которому к соответствующей сосредоточенной массе прикладывается момент от газовых и инерционных сил от каждого цилиндра двигателя в зависимости от порядка его работы и сдвига фаз.

На основе разработанной математической модели трансмиссии карьерного самосвала была создана компьютерная программа, с помощью которой имитировались колебательные процессы в трансмиссии автомобиля. Результаты проведенного расчета позволили определить рекомендации по совершенствованию модельного ряда муфт.

УДК 519.873

О СТАЦИОНАРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ С УЧЁТОМ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

А.И. Песчанский, С.Г. Глеч, Р.А. Приходько

Севастопольский национальный технический университет, Украина

При эксплуатации автоматизированных производственных систем актуальной является проблема определения оптимальных параметров проведения технического обслуживания (ТО) для обеспечения наилучших технико-экономических характеристик.

Известны математические модели функционирования двухэлементных последовательных [1] и параллельных [2] технологических систем с учётом проведения ТО. Интерес представляет обобщение этих моделей на случай произвольного числа элементов.

Авторами обобщены результаты моделирования двухэлементной последовательной и параллельной технологических систем с учётом ТО на любое число элементов.

На основе теории полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний построены математические модели функционирования систем, состоящих из конечного числа последовательно или параллельно соединённых технологических ячеек с учётом проведения ТО. В работе использован приближенный метод нахождения стационарных характеристик системы, основанный на алгоритме фазового укрупнения [3]. Важным моментом применения алгоритмов фазового укрупнения яв-

ляется выбор опорной системы. Предположим, что у системы времена безотказных работ значительно больше соответствующих времен восстановления и времени проведения профилактики. Это приводит к тому, что опорной системой будет система, которая восстанавливается мгновенно и имеет мгновенную профилактику. Определены средние времена пребывания в состояниях и вероятности переходов между состояниями, стационарные распределения вложенной цепи Маркова.

В работе получены основные характеристики безотказности и ремонтпригодности с учётом проведения ТО – средняя стационарная наработка на отказ, среднее стационарное время восстановления, стационарный коэффициент готовности рассматриваемой системы. Произведено исследование этих характеристик, проанализировано влияние на них параметров технологических ячеек и параметров технологического обслуживания. Решена задача нахождения оптимальной периодичности ТО.

Разработанная модель может быть использована в машино- и приборостроении для анализа надежности многокомпонентных систем с учетом проведения ТО.

Л и т е р а т у р а

1. Песчанский А.И. Анализ надёжности двухкомпонентной технологической системы с учётом профилактики /А.И. Песчанский, С.Г. Глеч //Новые технологии в машиноприборостроении и на транспорте: Материалы междунар. науч.-техн. конф., 10–14 сент. 2001 г. – Севастополь, 2001. – С. 125-134.
2. Обжерин Ю.Е. Полумарковская модель параллельной двухкомпонентной системы с учётом профилактики /Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский, С.Г. Глеч //Новые технологии в машиноприборостроении и на транспорте: Материалы междунар. науч.-техн. конф., 10–14 сент. 2001 г. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2001. – С. 175-181.
3. Корлат А.Н. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания /А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, А.Ф. Турбин. – Кишинёв: Штиинца, 1991. – 209 с.

УДК 634.377

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ПОДВЕСА ПАЧКИ ДЕРЕВЬЕВ НА ДИНАМИКУ СКИДДЕРА

В.А. Симанович, Д.В. Клоков, С.Н. Пищов

*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск*

Взаимодействие колесного трелевочного трактора с пачкой деревьев является сложным динамическим процессом, описание которого не всегда представляется возможным ввиду сложности уравнений, описывающих взаимодействие подсистем машины и предмета труда. В настоящее время одной из главных тенденций в развитии расчетных исследований является разработка математических моделей движения специальных транспортных средств на основе методов системного подхода. Математическая модель объекта является основой для проведения расчетных исследований динамической нагруженности узлов и агрегатов транспортного средства, показателей его технико-эксплуатационных качеств.

При разработке математической модели трелевочного трактора и предмета труда учитывается раздельно-агрегатная компоновка подсистем машины, принцип их связанности, который позволяет выбрать правильный подход и порядок соединения частных моделей системы «колесный трелевочный трактор – пачка деревьев».

Взаимодействие полуподвешенной пачки деревьев и оборудования базовой машины в основном сводится к определению сил, действующих в процессе транспортировки. На наш взгляд, наиболее полно описывает динамическое взаимодей-

вие с транспортным средством трехмассовая модель пачки деревьев. В более ранних работах нами проводились теоретические исследования по введению упругих элементов между технологическим оборудованием трактора и пачкой деревьев, т. е. в тяговый канат. Конструктивное исполнение этого узла представляется разноплановым, но в любом случае преследовалась одна цель – снижение динамической нагруженности трелевочного трактора и его технологического оборудования.

В наших исследованиях упругий элемент вводился в тяговый канат. Жесткость его составляла $5,2 \times 10^2$ кН/м при различных объемах транспортируемой пачки деревьев.

На начальном этапе составлялись уравнения движения колебательной системы. Пачка деревьев на подвесе была представлена в виде обратных математических маятников, причем массы соединялись через канат или упругий элемент и плечи маятников L_1, L_2, L_3 .

При нахождении собственных частот и форм колебаний пачки деревьев на подвесе, система дифференциальных уравнений приводилась к виду:

$$C \cdot \ddot{W} + A \cdot W = 0,$$

где C – матрица коэффициентов инерции; A – симметричная матрица коэффициентов жесткости.

Полученные расчетные величины нагруженности технологического оборудования F_{TR} при различных схемах подвеса пачки деревьев показывают, что различие в таких статистических показателях как M_X и D_X для расчетных и эксплуатационных значений находятся в пределах 9–15 %, что указывает на близкую их сходимость.

Полученные расчетные и экспериментальные зависимости послужат исходными данными при расчете параметров упруго-демпфирующих устройств в системе «колесный трактор – пачка деревьев».

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ КОМПОНОВКИ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.И. Михайлов, М.Р. Шейбак

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

Для исследований был выбран консольный вертикально-фрезерный станок.

Сравнивались два конструктивных варианта, первый из которых представлял собой классическую компоновку этой группы станков, а второй отличался применением двигателей: регулируемого, имеющего массу 150 кг (масса двигателя в первом варианте составляет 80 кг), и двигателя для автоматизированного зажима инструмента, а также уменьшенной массой и габаритами коробки скоростей фрезерной головки, дополнительным приводом подач хобота станка. Расчет виброустойчивости несущих конструкций станка заключался в определении форм и частот собственных колебаний элементов станка, сравнении их с частотой и направлением вынужденных колебаний. Частота вынужденных колебаний ограничивалась частотой вращения инструмента, закрепленного в вертикальной фрезерной головке станка.

Расчет выполнялся с использованием системы конечно-элементного анализа ИСПА (Интегрированная система прочностного анализа), которая позволяла сгенерировать конечно-элементную сетку по 3-мерной геометрической модели, импортированной из САД-системы.

В моделях учтены геометрические параметры всех элементов несущей конструкции станка (основание, станина, хобот, стол), определяющие динамические свойства конструкции.

Закрепление хобота и консоли стола на станине станка моделировалось заданием совместности перемещений КЭ узлов станины и соответствующих им узлов хобота и консоли стола, при этом в вертикальном направлении консоль шарнирно опиралась на механизм подъема консоли (в модели – стержневой элемент, моделирующий ходовой винт).

Все остальные элементы конструкции жестко связаны между собой.

В результате расчетов получены формы собственных колебаний узлов станка и их частоты.

Как следует из расчетов, первая и последующие формы собственных колебаний конструкции имеют частоту, превышающую максимальную частоту вращения. При этом отстройка 1-й формы собственных колебаний (перемещения головки вдоль вертикальной оси Z, связанная с изгибной деформацией хобота) составляет $\Delta = (43,21 - 41,6) \times 100 \% / 41,6 = 3,9 \%$, что значительно ниже допустимой величины $[\Delta]$. Для достижения минимально допустимой отстройки частоты вынужденных колебаний от собственных на частоте $f = 41,6$ Гц необходимо увеличить жесткость хобота в вертикальном направлении.

Расчет виброустойчивости двух вариантов компоновки консольного вертикально-фрезерного станка был выполнен для максимального вылета хобота станка. При уменьшении вылета жесткость хобота увеличивалась, что влекло за собой изменение динамических свойств несущей конструкции станка.

Расчеты статической прочности и жесткости несущей конструкции станка позволили определить элементы конструкции, имеющие недостаточную жесткость и наибольшее влияние на точность обработки. Изменением геометрических параметров этих элементов добивались оптимального сочетания жесткостных показателей и материалоемкости компоновок станков.

УДК 621.91

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ИНСТРУМЕНТА

М.И. Михайлов

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

В промышленности используется большое количество режущего инструмента, имеющего главное вращательное движение. Движение подачи такого инструмента может быть как осевым, так и радиальным. Анализ геометрических параметров такого инструмента производится по эмпирическим формулам, что сдерживает автоматизацию процесса его проектирования.

Целью данной работы была разработка универсальной математической модели геометрических параметров вращающегося инструмента с плоской передней поверхностью.

Математическая модель формировалась на основе метода преобразования систем координат.

В произвольную точку на режущей кромке помещалась инструментальная система координат *хуз*.

Затем вводилась новая система координат ось y_1 , которой проходила по касательной к режущей кромке, а x_1 располагалась в главной секущей плоскости.

Повернув систему координат вокруг оси x_1 так, чтобы ось y_2 проходила через рассматриваемую точку и центр вращения инструмента, получили связь между углами в системах координат $x_2y_2z_2$ и $x_1y_1z_1$ в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} tg\gamma_{x_2} \\ tg\gamma_{y_2} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\varphi'' & \cos\varphi'' & 0 \\ -\cos\varphi'' \cdot \cos\mu & \sin\varphi'' \cdot \cos\mu & -\sin\mu \\ -\cos\varphi'' \cdot \sin\mu & \sin\varphi'' \cdot \sin\mu & \cos\mu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} tg\gamma_x \\ tg\gamma_y \\ 1 \end{bmatrix}.$$

В результате преобразований получили

$$tg\gamma = tg\gamma_x \cdot \sin\varphi'' + tg\gamma_y \cdot \cos\varphi'';$$

$$tg\lambda = -tg\gamma_x \cdot \cos\varphi'' \cdot \cos\mu + tg\gamma_y \cdot \sin\varphi'' \cdot \cos\mu - \sin\mu;$$

$$1 = -tg\gamma_x \cdot \cos\varphi'' \cdot \sin\mu + tg\gamma_y \cdot \sin\varphi'' \cdot \sin\mu + \cos\mu.$$

В кинематической системе координат

$$tg\gamma^k = tg\gamma_x \cdot \cos\varphi' + tg\gamma_y^k \cdot \sin\varphi';$$

$$\gamma_y^k = \gamma_y + \mu;$$

$$tg\mu = \frac{v_s}{v} = \frac{S_0 \cdot 1000}{\pi \cdot D}.$$

По полученным математическим моделям исследовали влияние величины смещения режущей кромки относительно оси инструмента, угла наклона вспомогательной режущей кромки и формы главной режущей кромки на значения переднего угла.

Проведенные исследования позволяют оптимизировать форму и расположение режущих кромок относительно оси вращающегося инструмента.

УДК 658.512.011.56

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

В.С. Мурашко

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

Основными процессами в машиностроении является механическая обработка и сборка, на долю которых приходится более половины общей трудоемкости изготовления машин. Технологическая подготовка производства отстает от современных темпов интенсификации производства. Автоматизация технологической подготовки значительно сокращает сроки подготовки производства за счет автоматизации инженерного труда.

Необходимость автоматизированного расчета суммарной погрешности обработки появилась, потому что традиционный поиск справочно-нормативных данных замедляет технологическую подготовку производства, повышает вероятность случайных ошибок при расчете величин использующих таблицы, заставляет выполнять много рутинной и однообразной работы.

Проанализировав предметную область расчета суммарной погрешности обработки [1, с. 119-170], был разработан алгоритм поиска суммарной погрешности обработки.

Для программной реализации алгоритма на ЭВМ была использована система визуального объектно-ориентированного проектирования Delphi с дружественным графическим интерфейсом.

Автоматизированный расчет суммарной погрешности обработки в структурном плане представляет собой совокупность двух подсистем: подсистемы работы с базой данных «Погрешности» и подсистемы «Расчет суммарной погрешности обработки».

База данных «Погрешности» состоит из совокупности таблиц формата dBase. Основными функциями подсистемы являются просмотр базы данных, изменение значений в базе данных, добавление новых данных.

Описание сценария диалога подсистемы «Расчет суммарной погрешности обработки» выполняет ориентированный граф, вершины которого – сообщения и выполняемые действия, дуги – связь сообщений; словесное описание. Граф состояний позволяет в наглядной форме представить возможность диалога, произвести его переконструкцию, сгруппировав отдельные состояния.

Основными функциями подсистемы «Расчет суммарной погрешности обработки» являются:

- поиск погрешности, обусловленной износом режущего инструмента;
- поиск погрешности настройки станка;
- поиск погрешности установки заготовки;
- поиск случайной погрешности.

Автоматизированный расчет суммарной погрешности исключает случайные ошибки, которые может допустить человек. Использовать его могут студенты в курсовых и дипломных работах, а также пользователи-технологи.

Л и т е р а т у р а

1. Дипломное проектирование по технологии машиностроения /Под общ. ред. В.В. Бабука. – Мн.: Выш. школа, 1979. – 464 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.
3. Фаронов В.В. DELPHI. Программирование на языке высокого уровня. – СПб.: Питер, 2003. – 640 с.

УДК 621.822

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ ПАР ТРЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ БЕЗ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Е.А. Польский, С.В. Сорокин

Брянский государственный технический университет, Россия

Вследствие недостаточно обоснованного выбора материалов для деталей пар трения скольжения сроки службы машин и агрегатов уменьшаются, возрастает количество ремонтных работ. От выбранного материала зависит конструктивное оформление узла трения. Конструкции деталей разрабатываются исходя из свойств материалов таким образом, чтобы наиболее полно использовать низкий коэффициент трения и высокую износостойкость материала, при этом сведя до минимума или полностью устранив вредное влияние отрицательных характеристик (геометрических параметров качества трущихся поверхностей и их физико-механических свойств).

В настоящей работе предлагается методика построения математической модели выбора материалов деталей при проектировании узлов трения скольжения.

Процесс моделирования выбора материала деталей пар трения можно представить в виде последовательности шагов:

1. Для каждого материала выполняется процедура сравнения входной информации с множеством параметров $\{P_i, T_i, V_i\}$, где P_i – допустимые значения нагрузки, T_i – температуры и V_i – скорости скольжения, которые могут обеспечить функционирование узла трения в заданных условиях. В результате указанной процедуры формируется начальное множество альтернатив, содержащее сочетания «материал – предельно допустимые значения нагрузки, температуры, скорости скольжения», параметры которых удовлетворяют входным данным.

2. Ранжирование допустимых альтернатив в соответствии с уровнем их предпочтительности. На предпочтительность того или иного материала, помимо условий обеспечения требуемых параметров работы узла, может влиять целый ряд дополнительных критериев, к которым обычно относят коррозионную стойкость, износостойкость, предпочтительность по стоимости изготовления и обработки и др. При этом различные альтернативы удовлетворяют каждому из этих условий в разной степени, и увеличение предпочтительности по одному критерию часто ведет к ее уменьшению по другим. Таким образом, для построения процедуры синтеза оценок предпочтительности альтернатив необходимо привлечение методов многокритериального анализа решений, учитывающих данные условия и обладающих свойством устойчивости к неполноте и неопределенности исходной информации.

3. Иерархический синтез, результатом которого является вектор обобщенных оценок предпочтительности альтернатив. Указанные оценки определяются в соответствии с правилом:

$$C(x) = \sum_j \lambda_j C_j(x),$$

где параметр λ характеризует степень относительной важности детализирующих критериев по отношению к детализируемому. Полученные значения $C(x)$ упорядочивают допустимые альтернативы по степени их предпочтительности в условиях поставленной задачи выбора оптимальных параметров ЗУ. Таким образом, в качестве решения задачи можно рассматривать набор $\langle X, \{C(x) \mid x \in X\} \rangle$.

На основе описанного метода парных сравнений были созданы алгоритмы, а на основании этих алгоритмов – программная основа модуля пополнения, редактирования и ранжирования материалов в базе данных.

УДК 621.923

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Л.Е. Сергеев, А.И. Новиков

*Учреждение образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет», г. Минск*

Изучение стохастических систем для оценки их поведения требует применения различных модельных групп. Для решения практических задач, в частности технологического процесса механической обработки деталей машин, связанных с описанием и оптимизацией этого процесса наиболее пригодна локально-интегральная полино-

минальная группа. Проведенные исследования показали, что магнитно-абразивная обработка (МАО) сферических поверхностей достаточно полно описывается математическими моделями второго порядка. Для получения модели процесса МАО применили симметричный композиционный ортогональный план. На первом этапе нахождения наиболее значимых факторов и режимов МАО был использован метод крутого восхождения, который позволяет получить представление о функции отклика $Y = f(x_i)$, где Y – параметр оптимизации, x_i – факторы. В качестве независимых переменных использовались следующие факторы: x_1 – магнитная индукция, В, Тл; x_2 – частота вращения ведущего притира, n , мин⁻¹; x_3 – диаметр притира, D , мм; x_4 – время обработки, t , мин; x_5 – усилие прижима, P , Н; x_6 – исходная шероховатость, R_{a1} , мкм. Параметром оптимизации являлось достигаемая шероховатость R_{a2} , мкм. Все опыты рандомизировались при помощи таблицы случайных чисел. Эксперименты выполняли на станке модели АА 15.002, образцами служили шарики подшипников из стали ШХ-15 ГОСТ 801-78, твёрдостью 58-62 HRC₃. Значимость коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента. Проверку адекватности модели осуществляли по критерию Фишера. После реализации 1/8 реплики типа 2^{6-3} получено следующее линейное уравнение регрессии:

$$y = 0,37 + 0,003x_2 + 0,008x_3 - 0,003x_4. \quad (1)$$

Краткий анализ модели 1 позволяет сделать вывод, что магнитная индукция, усилие прижима и исходная шероховатость существенно не влияют на показатель достигаемой шероховатости. Наиболее сильно процесс МАО зависит от частоты вращения притира, его размеров и времени обработки. Это связано с тем, что наличие замкнутой рабочей зоны позволяет эффективно удерживать пасту, а разноразмерность шариков и давление инструмента компенсируются увеличением режущего клина в 2–4 раза. Кроме того, было реализовано 4 опыта крутого восхождения. Для изучения области оптимума использовались наиболее значимые факторы, а остальные принимались постоянными.

Таким образом, с помощью данной модели установлена степень влияния технологических факторов на параметры процесса МАО шариков. В результате проведения данных экспериментов выявлено, что эффективность процесса определяется размерностью притиров, скоростью их вращения и временем обработки, которое в отличие от обработки цилиндрических деталей увеличивается до 10 раз. Это связано с более высокой технологической сложностью полирования шариков как МАО, так и другими методами.

УДК 62-229.316.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ УСТАНОВОЧНЫХ РОМБИЧЕСКИХ ПАЛЬЦЕВ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

С.А. Щербаков

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

При проектировании приспособлений для оснащения операций механической обработки заготовок со схемами установки:

- 1) на плоскость и параллельное ей отверстие;
- 2) на плоскость и два перпендикулярных к ней отверстия;

3) на плоскость и три перпендикулярных к ней отверстия возникают проблемы обеспечения необходимой точности обработки и свободной установки заготовок на установочные пальцы базовыми отверстиями.

Необходимая точность обработки определяет наибольшие зазоры, которые можно установить в сопряжениях «базовое отверстие – установочный палец». А свободная установка зависит от наименьших зазоров в этих же сопряжениях. Известные зависимости для решения подобных задач не позволяют выбрать установочные пальцы, которые удовлетворяли бы требованиям точности и свободы установки. Так как точность установки обеспечивается зазорами в цилиндрических сопряжениях, а свобода установки достигается за счет удаления части базирующей цилиндрической поверхности с пальцев (ромбических) в направлении допусков на расположение отверстий в заготовке T и пальцев в приспособлении T_n , то при определении размеров ромбических установочных пальцев, кроме наименьшего диаметра базового отверстия D_{\min} и наибольшего диаметра пальца d_{\max} , требуется найти ширину ромбического пальца B и ширину цилиндрического участка (ленточки) b . Формулы для определения этих размеров имеют следующий вид.

Для первой схемы установки с одним ромбическим пальцем:

$$B \leq D_{\min} - T - T_n, \quad (1)$$

$$b \leq \frac{D_{\min}^2 - d_{\max}^2 - 2 \cdot T \cdot T_n - T^2 - T_n^2}{2(T + T_n)}. \quad (2)$$

Для второй схемы установки с цилиндрическим и ромбическим пальцами:

$$B \leq D_{\min} - (T + T_n - Z_{y \min}), \quad (3)$$

где $Z_{y \min}$ – минимальный зазор в сопряжении базового отверстия с цилиндрическим пальцем;

$$b \leq \frac{D_{\min}^2 - d_{\max}^2 - 2 \cdot [T \cdot T_n - Z_{y \min} (T + T_n)] - T^2 - T_n^2 - Z_{y \min}^2}{2(T + T_n - Z_{y \min})}. \quad (4)$$

Для третьей схемы установки, использующей три ромбических пальца ($i = 1...3$):

$$B_i \leq D_{i \min} - (T_i + T_{ni} - Z_i), \quad (5)$$

где T_i – допуск расположения оси i -го базового отверстия в заготовке от начала технологической системы координат;

T_{ni} – допуск расположения оси соответствующего ромбического пальца в приспособлении;

Z_i – соответствующий минимальный зазор в сопряжении, ограничивающем сдвиги заготовки в направлении малой диагонали i -го ромбического пальца;

$$b_i \leq \frac{D_{i \min}^2 - d_{i \max}^2 - 2 \cdot [T_i \cdot T_{ni} - Z_i (T_i + T_{ni})] - T_i^2 - T_{ni}^2 - Z_i^2}{2(T_i + T_{ni} - Z_i)}. \quad (6)$$

УДК 536.2.01

ВОЛНОВОЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС В СРЕДАХ С ОБЪЕМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

О.Н. Шабловский

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

Математическая модель локально-неравновесной системы с памятью [1] состоит из уравнения энергии и закона Максвелла, учитывающего релаксацию теплового потока:

$$c \frac{\partial T}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{q} = q_v, \quad \mathbf{q} + \gamma \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} = -\lambda \operatorname{grad} T, \quad (1)$$

где t – время, T – температура, \mathbf{q} – вектор удельного теплового потока, q_v – мощность внутренних источников тепла, λ – коэффициент теплопроводности, c – объемная теплоемкость, γ – время релаксации теплового потока. В докладе представлены результаты теоретического исследования одномерных и двумерных релаксационных структур в средах с нелинейными теплофизическими свойствами.

Показана важная роль задачи о распаде произвольного разрыва в теории локально-неравновесного теплопереноса. Получено новое точное решение задачи о распаде разрыва в релаксирующей среде. Дано подробное описание основных типов конфигураций.

Выполнены качественные и количественные оценки параметров процессов, когда в релаксирующем тепловом поле наблюдаются две ситуации: 1) классический вариант, для которого векторы \mathbf{q} и $\operatorname{grad} T$ противоположны друг другу; 2) неравновесный вариант, для которого направления \mathbf{q} и $\operatorname{grad} T$ одинаковые. Обнаружено существование своеобразной переходной области значений $|\operatorname{grad} T|$ между «классической» и «неклассической» ситуациями.

Для волновой модели теплопереноса установлены условия, при которых в «дозвуковом» ($M < 1$) и «сверхзвуковом» ($M > 1$) режимах наблюдается инверсия знака источника $q_v(T)$. Здесь M – тепловой аналог числа Маха.

Найден класс особых нелинейных решений уравнений (1). А именно: если $\gamma \sim T^{n_3}$ либо $\gamma \sim \exp(n_3 T)$, то при стремлении к нулю параметра нелинейности $n_3 \rightarrow 0$ решение обращается в бесконечность. Выполнен подробный анализ этих решений и дана физическая интерпретация.

Явление «отрицательной теплоемкости» среды [2] состоит в том, что при подводе тепла температура уменьшается, при отводе тепла – растет. В рамках двумерной модели (1) эта ситуация моделируется источником $q_v \sim [-\ln(f(T))]$, где $f(T)$ – монотонная функция. Например, при $f(T) \equiv T$ имеем: 1) $0 < T \leq 1$, $q_v \geq 0$; 2) $T \geq 1$, $q_v \leq 0$. Дано точное аналитическое описание эволюции начального температурного профиля в системе «среда – объемный источник тепла».

Литература

1. Шабловский О.Н. Релаксационный теплоперенос в нелинейных средах. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2003. – 382 с.
2. Ингель Л.Х. Успехи физич. наук. – 2002. – Т. 172, № 6. – С. 644-651.

УДК 536.2.01

НЕЛИНЕЙНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРЕВЕ ДВУХСЛОЙНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ

О.Н. Шабловский, Д.Г. Кроль

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

Изучаются нестационарные свойства системы «поверхностный источник энергии – двухслойная металлическая пластина». Процесс инициируется на левой границе импульсом энергии треугольной временной формы. Правая граница образца изотермическая. Нагрев происходит в широком интервале температур, так что в полной мере проявляются нелинейные теплофизические свойства металлов. Структурные и фазовые переходы отсутствуют. Подробное изложение численного алгоритма дано в [1]. Важным нелинейным свойством двухслойной пластины является асимметрия тепловых процессов. Она наблюдается при перестановке металлических слоев. В стационарных условиях это явление изучено экспериментально в [2]. Наша цель – анализ гистерезисных и энтропийных свойств асимметрии при нестационарном поверхностном нагреве пластин. В зоне контакта параметр асимметрии (ПА) производства энтропии равен $A_\sigma = F_{M_1-M_2}^{(g,\sigma)} / F_{M_2-M_1}^{(g,\sigma)}$, параметр асимметрии динамического теплового гистерезиса $A_G = F_{M_1-M_2}^{(g,Q)} / F_{M_2-M_1}^{(g,Q)}$. Асимметричные свойства теплопереноса выражены тем сильнее, чем больше ПА отличаются от единицы. Здесь M_1, M_2 – химические символы металлов; $F^{(g,\sigma)}, F^{(g,Q)}$ – площади петель динамического гистерезиса в плоскостях «градиент температуры – производство энтропии», «градиент температуры – тепловой поток». Как правило, эти петли имеют форму лепестка. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности $\lambda(T)$ является главным фактором, влияющим на формирование пространственно-временной структуры теплового поля.

Если $d\lambda/dT < 0$ в обоих слоях, то асимметричные свойства тепловых процессов наиболее резко проявляются в зоне контакта. Если в одном слое $d\lambda/dT < 0$, а в другом $d\lambda/dT > 0$, то тепловое взаимодействие металлов испытывает значительное влияние конкуренции знаков производных $(d\lambda/dT)_{M_1} < 0$, $(d\lambda/dT)_{M_2} > 0$.

Важным физическим свойством процесса является начальная температура образца T^0 . По мере роста T^0 усиление асимметрии гистерезисных свойств происходит примерно такими же темпами, какими нарастает T^0 .

Отношение толщин слоев принципиальным образом влияет на асимметрию процесса. Это обстоятельство изучено для двух вариантов: а) перестановка металлов, наполняющих слои разной толщины (толщины слоев не переставляются); б) перестановка слоев вместе с наполняющими их металлами.

В докладе представлены результаты исследования системы Fe – W.

Литература

1. Шабловский О.Н., Кроль Д.Г. Численное решение нелинейных задач нестационарного нагрева материалов //Нелинейные краевые задачи математической физики и их приложения: Сб. науч. тр. – Киев: Ин-т математики НАН Украины. – 1998. – С. 234-237.
2. Gogol W. Experimental investigation of effect of asymmetry of heat conduction in two-component systems //Arch. termodyn. 1984. V. 5. № 3-4. P. 289-311.

УДК 536.24

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ НА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ (ПОПЕРЕЧНО-ОРЕБРЕННОЙ) ПОВЕРХНОСТИ

А.В. Овсянник

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

Для повышения компактности и эффективности работы испарителей тепловых насосов, холодильных машин и криогенных установок необходимо повышать их коэффициенты теплоотдачи при пузырьковом кипении с малыми значениями температурных напоров. Повышение эффективности охлаждения электронных приборов возможно в случае повышения коэффициентов теплоотдачи во всей области существования пузырькового режима кипения. Для систем охлаждения двигателей необходимо повышение критических тепловых потоков, а величина коэффициента теплоотдачи часто не имеет первостепенного значения. Увеличение коэффициентов теплоотдачи достигается путем создания на поверхности теплообмена центров парообразования с высокой плотностью или путем нанесения пористых покрытий, а передача больших тепловых нагрузок и, как следствие, увеличение критических тепловых потоков достигается путем развития поверхности теплообмена за счет оребрения, которая, в этом случае, представляет собой неизотермическую поверхность.

Предлагается модель процесса теплообмена при развитом пузырьковом кипении жидкостей, протекающего на ребрах при поперечном (радиальном) их расположении на несущей поверхности.

Рассматривается уравнение теплового баланса для ребра при развитом пузырьковом кипении на нем жидкости. Тепловой поток dQ , передаваемый ребром от несущей поверхности к кипящей жидкости, будет:

$$dQ = dQ_1 + dQ_2.$$

Левая часть уравнения представляет собой количество теплоты, передаваемой теплопроводностью в единицу времени в ребре.

Правая часть уравнения представляет собой количество теплоты, отводимой боковыми поверхностями ребра в единицу времени и расходуемой на парообразование dQ_1 и количество теплоты, расходуемой на преодоление сил инерции dQ_2 , которые удерживают паровой пузырь на теплоотдающей поверхности.

Предполагается, что величина теплового потока dQ_1 , отводимого с боковых поверхностей элемента ребра dx при развитом пузырьковом кипении пропорциональна массе пара dM , поступившего в паровой пузырь с элемента криволинейной поверхности парового пузыря dF , скорости роста парового пузыря $dR/d\tau$, температурному напору между теплоотдающей поверхностью и температурой насыщения кипящей жидкости ϑ и теплоемкости жидкости $c_{ж}$ при температуре насыщения. Тепловой поток dQ_2 пропорционален силам инерции и скорости роста парового пузыря.

Предложенная математическая модель процесса теплообмена при кипении жидкостей на неизотермической (поперечно-оребреной) поверхности была решена методом конечных разностей с экстраполяцией Рихардсона. Полученное распределение температуры и коэффициента теплоотдачи по высоте радиального ребра удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными. Установлено, что интенсивность теплоотдачи на ребре не зависит от профиля ребра при развитом пузырьковом кипении.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ НА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

О.Д. Асенчик, А.В. Овсянник, М.Н. Новиков

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

Анализ существующих моделей при кипении на изотермической поверхности показывает, что все они в своей структуре содержат такую количественную характеристику, как коэффициент теплоотдачи, который должен быть заранее задан или определен экспериментально, что не всегда возможно или крайне затруднительно. Такой подход к математическому или физическому моделированию не позволяет определить интенсивность теплоотдачи на теплоотдающей поверхности прямым путем, используя полученные формулы, без проведения экспериментальных исследований.

Модельные уравнения теплоотдачи для продольного и поперечного типов ребер были получены в следующем виде:

$$\text{– продольное: } \frac{d}{dX} \left(f_2(X) \frac{d\theta(X)}{dX} \right) = (C + p\theta(X))\theta(X)^3, \quad (1)$$

$$\text{– поперечное: } \frac{d}{dX} \left(2\pi X f_2(X) \frac{d\theta(X)}{dX} \right) = \left(C + \frac{p\theta(X)}{X} \right) \theta(X)^3, \quad (2)$$

где $\theta(X)$ – зависимость безразмерной температуры от расстояния от вершины ребра, C, p – константы, зависящие от теплофизических параметров. Функция $f_2(X)$, определяющая форму ребра, выбиралась в виде:

– продольное (начало отсчета – вершина ребра):

$$f_2(X) = \frac{\delta_0}{2} X^n; \quad (3)$$

– поперечное (начало отсчета – основание ребра):

$$f_2(X) = \begin{cases} \delta_0 / 2, & \text{если } n = 0 \\ \frac{\delta_0}{2b} \left((1 + X_0)^n - X^n \right), & \text{если } n > 0, \end{cases} \quad (4)$$

где δ_0 – толщина ребра в основании.

Принимая $n = 0$, мы получим прямоугольное в продольном сечении ребро, $n = 1$ – треугольное ребро, $n = 2$ – параболическое ребро.

Краевые условия для заданного уравнения выбирались следующим образом:

$$\text{– продольное: } \frac{d\theta(X)}{dX} \Big|_{X=0} = Nu\theta(0), \quad \theta(1) = 1; \quad (5)$$

$$\text{– поперечное: } \theta(X_0) = 1, \quad \frac{d\theta(X)}{dX} \Big|_{X=1+X_0} = -Nu\theta(1+X_0), \quad (6)$$

где Nu – число Нуссельта.

Решение задачи (1–6) было получено численно с использованием метода конечных разностей. В результате решения описанной задачи было получено распределение температур и коэффициента теплоотдачи по высоте ребра. Результаты численного расчета модели удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, полученными при кипении ацетона и этилового спирта на продольных и поперечных ребрах различного профиля.

УДК 536.24

КИПЕНИЕ ЭТИЛОВОГО СПИРТА НА ОРЕБРЕННЫХ ТРУБАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Н.А. Вальченко

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

Оребрение теплоотдающих поверхностей, как способ интенсификации процессов теплообмена, находит широкое применение в энергетических установках. Ряд положительных качеств, присущих данному способу, таких как технологичность, простота обслуживания, возможность организации процессов кипения загрязненных теплоносителей, делает оребрение в большинстве случаев оптимальным способом интенсификации теплообмена.

Идея применения ребра в кипящей жидкости заключается в том, что даже при температурах в основании, соответствующих пленочному режиму кипения, за счет передачи тепла теплопроводностью в зоны интенсивной теплоотдачи (околокритические области пузырькового и переходного режимов кипения) суммарный тепловой поток, отводимый ребром, сохраняется высоким. В сочетании с эффектом развития поверхности теплообмена через основание ребра могут быть переданы тепловые потоки плотностью, в несколько раз превышающие $q_{кр1}$ при умеренных температурах в основании ребра. В связи с этим, применение оребренных поверхностей для отвода тепловых потоков высокой плотности в кипящую жидкость представляет значительный интерес.

Экспериментальные исследования интенсивности теплоотдачи при кипении этилового спирта, проводились в диапазоне тепловых потоков $8 \div 63$ кВт/м² при значениях избыточного давления $p = 0,1 \div 0,4$ МПа.

Опытные образцы изготавливались из дюралюминия, и представляли собой трубы с поперечным оребрением со следующими профилями ребер (прямоугольный, трапециевидный, вогнутый параболический и треугольный).

Методика проведения эксперимента предполагала исследование процесса кипения этилового спирта на оребренных поверхностях в условиях «стеснения». Уровень исследуемой жидкости над вершиной ребра образца составлял порядка 28 мм и был ограничен наружным диаметром кольцевого канала.

Получены экспериментальные зависимости плотности теплового потока от температурного напора и зависимости коэффициентов теплоотдачи элементов оребренной поверхности от плотности теплового потока при различных значениях избыточного давления.

В результате анализа полученных зависимостей можно сделать вывод, что средние коэффициенты теплоотдачи по ребру, слабо зависят от профиля ребра при свободном отводе паровой фазы.

С повышением давления интенсивность теплообмена в области развитого пузырькового кипения непрерывно возрастает, это объясняется тем, что с увеличением давления уменьшается величина радиуса элемента, который при данном значении температурного напора может явиться центром зарождения новой фазы. Следовательно, с увеличением давления облегчаются условия зарождения и роста паровых пузырей на теплоотдающей поверхности.

УДК 536.24

**ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПО ТЕПЛООБМЕНУ ПРИ КИПЕНИИ АЦЕТОНА И ЭТАНОЛА
НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБАХ
С ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕМ РЕБРА**

Д.А. Дробышевский

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

Аналитическое решение задачи о теплообмене при кипении представляется весьма проблематичным из-за большого количества факторов, влияющих на процесс, а также сложной взаимосвязи между ними. Сложным оказывается получение приближенной эмпирической зависимости, имеющей ясный физический смысл из-за двойственности-периодичности и локальной нестационарности в отдельных точках поверхности и стационарности процесса пузырькового кипения в целом (при постоянной плотности теплового потока).

Экспериментальное исследование интенсивности теплоотдачи при кипении ацетона и этанола проводилось на установке [1] с естественной циркуляцией вещества при заданных избыточных давлениях $P = 1-5$ ата в диапазоне тепловых потоков $10-63$ кВт/м². Было исследовано влияние подводимого теплового потока на температурный напор в различных элементах оребренной поверхности с различным профилем ребра (прямоугольным, треугольным, трапециевидным), что позволило получить качественное и количественное влияние этого параметра на теплообмен при кипении. В результате экспериментальных исследований было выявлено, что у продольно оребренных поверхностей при горизонтальной ориентации, затруднен отвод паровой фазы с нижней образующей образца. Были получены зависимости коэффициентов теплоотдачи от плотности теплового потока при кипении ацетона и этанола для продольного типов оребрения. Из анализа эксперимента определено, что характер кривых кипения в значительной мере определяется теплофизическими свойствами этанола и ацетона, что объясняется различием теплофизических свойств этих жидкостей (в частности, большим отрывным размером парового пузыря из-за вдвое меньшей теплоты парообразования ацетона, что приводит к более быстрому запариванию межреберной поверхности и, как следствие, ухудшению теплоотдачи). На основе критериального уравнения В.И. Толубинского [2], получены эмпирические у критериальные уравнения для расчета интенсивности теплоотдачи элементов оребренной поверхности при кипении ацетона и этанола. Результаты эксперимента описываются полученной зависимостью с погрешностью $\pm 15\%$, т. е. не превышающей погрешность эксперимента.

Литература

1. Овсянник А.В., Вальченко Н.А., Дробышевский Д.А., Новиков М.Н., Коршунов Е.А. Кипение ацетона на горизонтальных трубах с поперечным оребрением в кольцевом канале // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2002. – № 2 – С. 31-36.
2. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении. – Киев: Наукова думка, 1980. – 316 с.

УДК 621.81

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ ФРИКЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
КОНТАКТИРУЮЩИХ ТЕЛ (ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ)**

В.П. Сергиенко

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

В.М. Ткачев, А.И. Столяров

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

Эффективность тормозных устройств мобильных машин зависит от температуры трения и существенно может снижаться при высокой температуре в деталях тормозов. Повышение температуры во время торможения может являться причиной повышенного износа контактирующих поверхностей, трещинообразования и возникновения термически возбуждаемых вибраций. Указанные причины снижают надежность и долговечность тормозов. Поэтому, для повышения безопасности эксплуатации важно прогнозировать изменение температуры и температурную эффективность тормозных систем.

Обсуждается тепловая схема контактного взаимодействия пар трения, которая учитывает генерацию тепла на поверхностях фрикционного контакта при многократных нестационарных процессах.

В работе тепловую нагруженность и термоконтатные параметры рассчитывали с использованием системы уравнений тепловой динамики трения.

Решаются взаимосвязанные задачи: контактная, тепловая и термоупругая. Граничные условия задавались на подвижном контакте. При расчете температурных полей и напряжений в зоне фрикционного контакта учитывали кинетический характер термоконтатных параметров, определяющих тепловыделение.

На основе решения задачи распространения тепла в зоне фрикционного контакта с учетом нелинейности теплофизических свойств фрикционного материала, проведен численный расчет температур и напряжений в контактирующих телах в режиме торможения. Вычислены распределения температур и напряжений по толщине фрикционно-взаимодействующих тел в зависимости от удельных сил трения, продолжительности цикла торможения и конструктивных особенностей фрикционного узла. Спрогнозированы параметры трения, при которых могут возникать дефекты структуры материалов тел трения. Проведен анализ тепловых процессов, происходящих в тормозных узлах мобильных энергетических средств.

Установлено, что вследствие интенсивности тепловыделения в процессе трения, фактическая площадь фрикционного контакта в дисковых тормозах уменьшается, составляя $\approx 30\%$ от номинальной. Это является причиной увеличения неоднородности температурных полей и существенного возрастания поверхностных температур и температурных напряжений в трущихся телах, а также увеличению времени торможения. Предложенный метод расчета применяется при прогнозировании рабочих характеристик тормозов, и позволяет оптимизировать конструкцию тормоза для заданных материалов фрикционной пары.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ «ВЕНТИЛИРУЕМОГО» ТОРМОЗНОГО ДИСКА ДИСКОВЫХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕПЛООВОГО АНАЛИЗА ИХ РАБОТЫ

В.А. Балакин, Ю.В. Лысенко

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

На современных моделях автомобилей интенсивно используются тормозные механизмы с вентилируемым диском, который представляет собой два диска, соединенные между собой ребрами жесткости (рис. 1а). При движении автомобиля ребра жесткости создают вентиляционный эффект увеличивая теплоотдачу с внутренних поверхностей дисков, что способствует увеличению интенсивности их охлаждения.

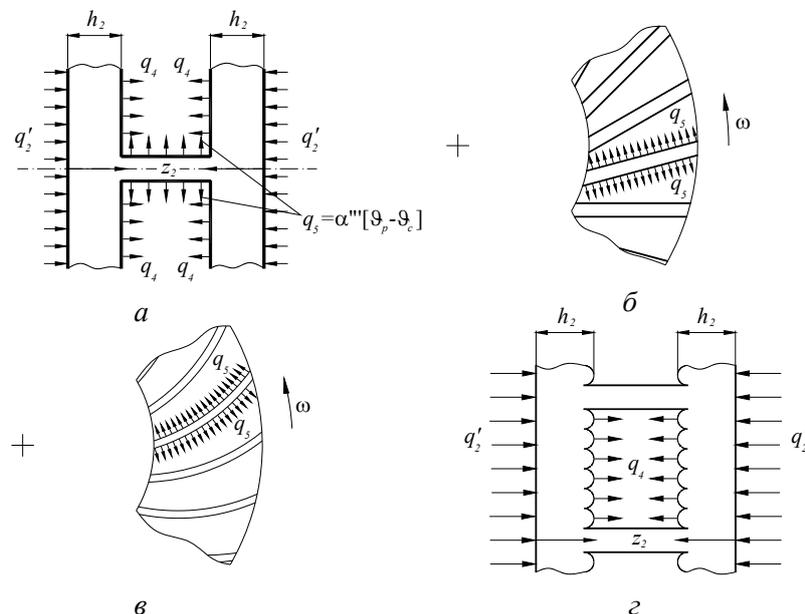


Рис. 1. Способы совершенствования конструкции вентилируемого тормозного диска: а) распределение тепловых потоков в внутридисковом пространстве; б) расположение ребер жесткости вентилируемого диска в сторону его вращения; в) профилирование ребер жесткости в виде криволинейных лопастей; з) увеличение площади внутренних поверхностей вентилируемого тормозного диска

Модернизация конструкции дискового тормозного механизма на основе использования уравнений теплопроводности с целью увеличения интенсивности охлаждения вентилируемого тормозного диска может значительно увеличить эффективность торможения, повысить надежность и снизить тепловую нагрузку во время его работы.

Качественный анализ теплового режима работы тормозов проводился при условии $T = const$, тогда скорость и интенсивность фрикционного тепловыделения в зоне трения будут изменяться по линейным зависимостям. Результаты анализа показывают, что любое конструктивное решение, увеличивающее значение коэффициента теплоотдачи α'' (рис. 1б,в,г) ведет к увеличению интенсивности охлаждения тормозного диска, снижению среднесредних температур во время торможения и, следовательно, повышению эффективности торможения.

УДК 536.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОМ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ

И.А. Концевой

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

Постановка задачи. Плоский металлический образец толщиной h имеет в начальный момент времени $t = 0$ температуру $T = T^0$; при $t \geq 0$ правая граница $x = h$ изотермическая $T(h, t) = T_w \equiv T^0$. На левую границу образца $x = 0$ действует тепловой поток $q(0, t) = q_0(t)$, моделирующий воздействие концентрированного потока энергии. Нагрев осуществляется в широком интервале температур $T, K \in [300, T_2]$ (фазовые превращения не происходят). Для рассматриваемых металлов (никель, железо, ванадий, молибден, вольфрам) величины T_2 следующие: Ni – 600 К; Fe – 1000 К; V – 2000 К; Mo – 2600 К; W – 3200 К. Теплофизические свойства металлов (коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость) описываются полиномами третьей степени. Применяется классическая модель теплопроводности Фурье.

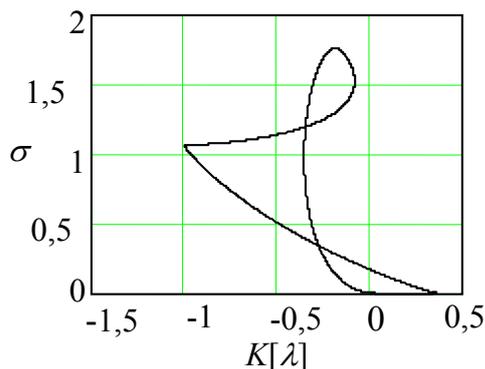


Рис. 1

Ранее в [1, 2] было установлено, что в плоскости (Q, g) «тепловой поток – градиент температуры» необходимым образом существует петля динамического теплового гистерезиса (ДТГ), если: 1) поверхностный источник энергии $q_0(t)$ немонотонно зависит от времени; 2) тепловой процесс происходит в таком интервале температур, что эффективным образом проявляет себя температурная зависимость коэффициента теплопроводности. В данной работе развиваются эти результаты и исследуются закономерности формирования петель динамического теплового гистерезиса при

высокоинтенсивном тепловом воздействии на пластины из упомянутых металлов. Устанавливаются качественные и количественные закономерности поведения петель ДТГ в плоскостях «тепловой поток – градиент температуры». Рассматриваются поверхностные импульсы энергии треугольной, колоколообразной и трапециевидной временных форм. На рис. 1 приведена неоднозначная зависимость в плоскости $(K[\lambda], \sigma)$ «параметр кривизны – производство энтропии» для левой границы пластины из никеля при трапециевидной форме импульса.

Работа выполнена под научным руководством профессора О.Н. Шабловского.

Литература

1. Шабловский О.Н., Кроль Д.Г., Концевой И.А. Импульсный нагрев металла в широком интервале температур // *Машиностроение*. – Минск. – 2002. – Вып. 18. – С. 516-520.
2. Шабловский О.Н., Концевой И.А. Гистерезисные свойства нестационарного температурного поля // *Математические модели в образовании, науке и промышленности: Сб. науч. тр.* – СПб.: Санкт-Петербургское отделение МАН ВШ, 2003. – С. 262-266.

УДК 621.761

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВНУТРЕННЕЙ ГЕОМЕТРИИ ЭЛАСТИЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СУХОГО ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

О.П. Реут

*Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии
и экономики Минобразования РБ, г. Минск*

Д.И. Божко

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

Порошковые изделия в виде тел вращения (трубы, диски, колбы, тигли) получают все более широкое распространение в различных областях техники, так как они обладают высокой технологичностью конструкции. Основным требованием, предъявляемым к геометрии таких изделий, является обеспечение точности наружных и внутренних размеров. Поэтому весьма актуальной задачей является максимальное приближение формы порошкового изделия к форме готовой детали, которая может быть достигнуто путем получения прессовки с необходимыми размерами. Это позволит исключить или уменьшить затраты на дополнительную обработку полученного изделия, а также сэкономить материалы.

Наиболее оптимальной схемой прессования изделий в виде тел вращения является радиальная схема прессования, которая способна комплексно реализовать положительные признаки известных способов при отсутствии их основных недостатков, а также обеспечить равномерное распределение плотности по объему прессовки, снизить энергозатраты на процесс прессования, возможность усложнить формы прессовки [1].

Точность прессовки, полученной сухим изостатическим прессованием (СИП), зависит от точности изготовления внутренней поверхности эластичного инструмента. Предложена система уравнений, позволяющая рассчитывать внутреннюю поверхность эластичного инструмента. Также реализованы комплекс ПЭВМ программ,



Рис. 1. Колба со сферическим дном после стадий прессования и спекания

позволяющие вычислять все необходимые размеры для проектирования эластичного инструмента, а также получать комплект чертежей для его изготовления в соответствии с заданными исходными параметрами. Причем исходные данные определены с учетом опыта разработки технологии и оборудования для радиального прессования [2].

На рис. 1 показана керамическая колба на основе оксидной керамики, полученная СИП. Расчет внутренней геометрии эластичной оболочки был произведен путем решения системы уравнений. Основным требованием, предъявляемым к геометрии колбы, является обеспечение точности наружных и внутренних размеров, а также исключение корсетности по длине прессовки, которая может быть вызвана неравномерным

распределением плотности и внутренним трением по торцевым поверхностям наладочной формы. Оптимальной формой для колбы такого рода является длинномерная оболочка (отношение длины к диаметру более 6) в виде тела вращения (цилиндр) с переменным внутренним профилем и сферическим дном. Прессование производилось при уплотнении на коническую оправку при статическом нагружении. Радиальное биение наружной поверхности колбы составило 0,2 мм.

Таким образом, усовершенствование процесса прессования изделий из керамических и металлических порошков, представляющих собою тела вращения, привело к улучшению культуры производства, увеличило коэффициент использования материала, снизило себестоимость изготовления изделий на 15–20 %.

Литература

1. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Минск: «Дэбор», 1998. – 258 с.
2. Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: Сб. науч. тр.: В 3-х т. /Под общ. ред. П.А. Витязя. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – Вып. 1. – Т. 2. – 477 с.

УДК 621.745

РАЗРАБОТКА КОМПЕНСАТОРА ДЛЯ ВСТРОЕННОГО РЕКУПЕРАТОРА ВАГРАНКИ

А.В. Ткаченко, В.А. Жаранов, Е.А. Зюзьков

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

Плавка металлов из всех технологических процессов литейного является наиболее энергоёмким процессом. Суммарно на процессы плавки и очистки выбросов плавильных агрегатов в пересчёте на первичную энергию приходится 50 и более процентов энергозатрат.

Перспективным направлением снижения энергоёмкости является экономия дорогостоящего топлива (кокса) при плавке чугуна в вагранках. Оптимальным решением, с точки зрения достигаемого технико-экономического эффекта, является оснащение вагранок встроенным в шахту печи радиационным рекуператором, установленным выше уровня завалочного окна.

Одной из проблем, которые возникают при эксплуатации рекуператора, является необходимость компенсации температурного удлинения теплопередающей поверхности.

Отходящие дымовые газы имеют высокую температуру 900...1100 °С, причем для повышения эффективности использования тепла применяется противоточная схема движения теплоносителей, при которой температура теплопринимающей стенки значительно выше.

Конструкция компенсатора, должна позволять свободное удлинение жаропрочной обечайки и обеспечивать герметичность рекуператора при давлении около 20 кПа [1].

Исследовались следующие варианты конструкций компенсаторов температурных расширений: герметизация на основе использования термостойких уплотнителей; гидрозатвор; песочный затвор; линзовый компенсатор (из гибких металлических элементов).

Для устранения выявленных недостатков была разработана принципиально новая конструкция узла компенсатора. Монтаж компенсатора осуществляется в сжатом (на 50 мм) состоянии. В процессе выхода на рабочий режим происходит разгрузка рабочей секции компенсатора в исходное состояние (до сжатия). Это обеспечивает значительно более высокие показатели надёжности, чем при работе секций компенсатора на растяжение.

Задачей проведённого исследования было выявление достоинств и недостатков предложенной конструкции компенсатора с помощью проведения структурного анализа деформации элементов, а также поиск возможности оптимизации размерных параметров компенсатора для обеспечения необходимого уровня надёжности конструкции.

При проведении расчетов применялся программный комплекс «ANSYS».

Анализ полученных данных выявил необходимость изменения геометрии модели для достижения равномерности деформаций по длине рабочей части компенсатора.

Для уменьшения деформаций центральной части исходная модель была пере-строена; толщина стенки центрального гибкого элемента увеличена с 3 до 4,5 мм.

Проведённый анализ и оптимизация конструкции линзового компенсатора позволили получить равномерное распределение напряжений и деформаций. Максимальные напряжения в рабочей секции компенсатора снизились (в среднем) на 35–40 %.

Результаты проведенного исследования реализованы в установке рекуператора для вагранок Могилевского металлургического завода.

УДК 621.745

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РАДИАЦИОННОГО РЕКУПЕРАТОРА

А.В Ткаченко, В.А. Жаранов

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

Представлены результаты компьютерного моделирования и оптимизации течения воздуха в кольцевом повороте двухходового радиационного рекуператора.

Подогрев дутья является наиболее эффективным способом повышения температуры чугуна из всех методов интенсификации ваграночного процесса. Высокая температура чугуна позволяет получить более мелкозернистую структуру чугуна, увеличить жидкотекучесть чугуна, тем самым достигается повышение механических свойств отливок. Особенно благоприятно подогрев сказывается на уменьшении содержания серы в металле.

На кафедре «МиГЛП» ГГТУ им. П.О. Сухого разработан радиационный щелевой рекуператор, встроенный в трубу вагранки. Для повышения КПД рекуператора использована двухходовая схема противоток – противоток. Такой рекуператор обладает рядом преимуществ по сравнению с одноходовым щелевым рекуператором. Наличие промежуточного (среднего) цилиндра увеличивает поверхность нагрева на воздушной стороне. Противоточное движение потоков газа обеспечивает интенсификацию теплообмена, увеличение температуры подогрева дутья, относительную компактность конструкции (передача теплоты единицей поверхности увеличивается на 40 %, а единицей полезного объема – в 2,5 раза).

Рекуператор состоит из двух концентрически собранных цилиндров, установленных в трубе вагранки над завалочным окном. Нагреваемый воздух поступает в кольцевой канал между корпусом вагранки и промежуточным цилиндром и движется вертикально вверх, затем поступает в кольцевой канал между промежуточным и внутренним корпусом и движется вниз.

Важным условием нормальной работы рекуператора является оптимальный выбор геометрических размеров кольцевого поворота воздуха из первой щели во вторую, которые определяют гидравлическое сопротивление рекуператора в целом, характер течения и теплообмен ($\alpha_k = f(Re, Nu)$) воздуха в канале после поворота. Поэтому выбор оптимальной конструкции поворота являлся важной задачей при проектировании.

С этой целью было проведено моделирование течения воздуха в кольцевом повороте с применением программы ANSYS/Flotran. В программе реализован алгоритм решения системы уравнений Навье-Стокса и неразрывности методом конечных элементов.

С помощью моделирования течения воздуха в кольцевом повороте рекуператора определены оптимальные геометрические размеры, при которых сопротивление движению воздуха минимально. Ширина первой кольцевой щели 80 мм, ширина второй щели – 100 мм, расстояние от верхней кромки промежуточного цилиндра до внутренней верхней точки направляющей (h) – 115 мм (значение перепада давления составляет 58 Па). Установлено, что с увеличением расстояния h от 75 до 115 мм изменение перепада давления более резкое (с 88 до 58 Па), а после значения h , равного 115 мм, перепад давления возрастает плавно (с 58 до 70 Па).

На основе данных расчета были разработаны конструкторские чертежи и изготовлен данный узел промышленного рекуператора.

Испытания изготовленного рекуператора на МАЗе (г. Минск) подтвердили адекватность расчетов параметров узла поворота.

УДК 620.92;532.533

**АВТОНОМНАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА (АВЭУ)
С МАКСИМАЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОЩНОСТИ
ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ СИЛЕ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ
НА ВЕТРОКОЛЕСО**

Ю.А. Кашин

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

Р.Е. Кашина

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

Для обсуждаемой АВЭУ предполагаются заданными интервал возможных значений скорости ветра в месте расположения этой установки $U \in [0, U^*]$, плотность вероятности этой скорости $\varphi = \varphi(U)$ и допустимая сила ветрового давления на ветроколесо P^* . Предполагается, что ветроколесо будет иметь η одинаковых радиальных лопастей, заметающих кольцо $r \in [\varepsilon R, R]$. Формой сечения лопастей принимается высококачественный крыловой профиль, задаваемый длиной своей хорды $l(r)$ и

характеризуемый в своем лабораторном базисе $O\vec{e}_1\vec{e}_2\vec{e}_3$ в рабочем диапазоне углов атаки $\alpha \in [0, \alpha^*]$, нормированной аэродинамической силой $\vec{f} = f_1(\alpha)\vec{e}_1 + f_2(\alpha)\vec{e}_2$, проекции которой $f_1(\alpha)$ и $f_2(\alpha)$ обычно называют коэффициентами лобового сопротивления и подъемной силы данного профиля, соответственно.

Итерационный метод расчета параметров АВЭУ с максимальным коэффициентом мощности C основан на применении теоремы Жуковского о подъемной силе решетки профилей и теоремы об изменении количества движения воздушного потока. Параметры нулевого приближения выбираются на основе положений теории идеальной ветротурбины. На первом этапе вычислений при некоторой скорости ветра $U = U_1$ находятся функция распределения длины хорды профиля $l = \psi(r, U_1) = \psi_1(r)$ и радиус ветроколеса $R_1 = R(\psi_1)$, при которых достигаются максимальный коэффициент мощности $C_1 = C(U_1)$ и предельное значение силы ветрового давления $P(U_1) = P^*$. Затем при угле атаки максимальной подъемной силы определяется минимальная скорость ветра U^0 , достаточная для преодоления момента холостого хода АВЭУ. После этого при $U \in [U^0, U^*]$ и $P \leq P^*$ определяются зависимости угловой скорости ветроколеса $\omega = \omega(U)$ и установочного угла лопастей $\delta = \delta(r, U)$, обеспечивающих максимальное значение коэффициента мощности $C = C(U)$ и приведенного коэффициента мощности данной АВЭУ в данной местности $\tilde{C} = \int_{U^0}^{U^*} C(U)\varphi(U)dU$. Вариацией U_1 и выбором более качественных крыловых профилей обеспечивается дальнейшее улучшение эффективности АВЭУ.

Обсуждаются возможные варианты технического исполнения АВЭУ с названными параметрами и свойствами.

УДК 629.114

ОБОБЩЕННАЯ ТИПОВАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ФОРМЕ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ПРЕОДОЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

И.В. Шостак, Л.В. Мандрикова

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», Украина*

Целью доклада является изложение нового подхода к поддержке принятия решений и моделирования процессов управления, связанных с ЧС, на основе интеграции традиционных методов обработки информации и интеллектуальных методов с применением баз знаний и экспертных систем, а также онтологий как средства второго использования знаний.

Для реализации интеллектуальной системы предлагается двухкомпонентная фреймово-продукционная модель представления знаний, имеющая трехуровневую иерархическую структуру, включающую следующие уровни: 1) выявление ЧС; 2) принятие решений для предотвращения и преодоления ЧС; 3) осуществление мер по предотвращению и преодолению ЧС.

На любом уровне структура конкретных экземпляров фреймов определяется на основе фреймов-прототипов, которые отвечают перечню функциональных задач каждого уровня.

На уровне выявления ЧС расположен фрейм нормальных режимов, который охватывает задачи постоянного контроля состояния объектов сложной системы; накопление информации о потенциальных источниках возникновения ЧС; средства и мероприятия по предупреждению ЧС.

Уровень принятия решений для преодоления ЧС строится на основе фрейма предотвращения и определения типа ЧС. Этот фрейм предназначен для решения задач принятия решений по ликвидации ЧС с учетом текущего состояния объектов контроля, а также ресурсов, необходимых для осуществления решений с использованием соответствующих технологий, и оценки качества осуществления этих решений.

Описанная выше структура обобщенной типовой модели ЧС (ОТМ ЧС) описывается в форме общей онтологии процессов, связанных с ЧС, и состоит из множества предметных онтологий, касающихся конкретных типов ЧС (техногенных, антропогенных и т. д.). С помощью указанных онтологий разрабатываются и поддерживаются базы знаний (БЗ) по борьбе с ЧС для конкретных объектов.

Алгоритм функционирования ОТМ ЧС представляет собой совокупность обращений к локальным алгоритмам, которые соответствуют присоединенным процедурам и обрабатывают данные слотов в границах соответствующих фреймов.

Подход к разработке ОТМ ЧС на основе онтологий принципиально отличается от традиционного, основанного на использовании жесткой структуры знаний, поскольку дает возможность оперативно, в автоматизированном режиме обновлять знания в существующих БЗ, а также синтезировать новые БЗ. Описанный подход был использован при синтезе базы знаний по борьбе с лесными пожарами.

Л и т е р а т у р а

1. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн. 2: Модели и методы: Справочник /Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
2. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем: Вильямс, 2003. – 864 с.

УДК 621.778.025

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ОКАЛИНОЛОМАТЕЛЯ ДЛЯ КАТАНКИ

А.Б. Стеблов

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

Ю.Л. Бобарикин, В.М. Ткачев, А.И. Столяров

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

Основой конструкции окалиноломателя является система роликов, через которые пропускают катанку (заготовка для волочения). При деформации в роликах в слое окалины возникают растягивающие напряжения, вызывающие скол и отделение частей окалины.

Наиболее эффективной конструкцией признана 5-роликовая система. Основным недостатком этой конструкции является интенсивная поверхностная деформация катанки при многократном изгибе на роликах, приводящая к поверхностному упрочне-

нию. Это отрицательно влияет на процесс последующего волочения, т. к. снижает ресурс волок и проводок. В этой связи актуальным является оптимизация конструкции окалиноломателя, заключающаяся в снижении поверхностного упрочнения.

Целью исследований является оптимизация конструкции окалиноломателя для уменьшения поверхностного упрочнения катанки без потери качества съема окалины.

Метод исследований заключается в построении математической модели деформирования катанки при ее движении через ролики окалиноломателя, расчете напряженно-деформированного состояния катанки.

Нелинейные механические свойства материала катанки задавали на основе экспериментально определенной диаграммы $\sigma - \varepsilon$. Для расчета напряжений использовали модель кусочно-линейной пластичности с параметрами модели Cowper-Symond $C = 40 \text{ с}^{-1}$ и $P = 5$, предел текучести 550 МПа и деформацией разрушения 27 %. Экспериментально определено, что прочность адгезионных связей между поверхностью катанки и слоем окалины составляет 30–50 МПа. Условием съема окалины является получение поверхностных напряжений катанки выше прочности адгезионных связей.

В результате расчета напряжений и деформаций при скорости движения катанки в роликах 3 м/с определено, что их максимальные значения находятся в диапазоне 600–700 МПа и 1–12 % на изгибах катанки вокруг роликов, а в остальной части до 200 МПа.

Предложена оптимизированная 3-роликовая конструкция окалиноломателя, позволяющая уменьшить максимальные напряжения в катанке до 500 МПа.

В результате получена конструкция окалиноломателя для катанки, снижающая ее поверхностное упрочнение и сохраняющая условие съема окалины.

УДК 621.182.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ

О.В. Герасимова, В.В. Кейзеров

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

При турбулентном движении парогазовой смеси вдоль холодной поверхности трубы происходит охлаждение смеси. В начале охлаждения пар, содержащийся в смеси, достигнет состояния насыщения и при контакте с более холодной поверхностью трубы произойдет конденсация на поверхности. При дальнейшем охлаждении пар будет перенасыщен, и кроме конденсации на поверхности будет происходить конденсация в объеме.

При конденсации пара в трубе в условиях турбулентного движения газа, температура газа и давление пара по сечению турбулентного потока снижается от центра трубы к ее стенкам. Пересыщение пара изменяется в противоположном направлении – увеличивается от центра трубы к ее стенкам.

При движении парогазовой смеси в трубе пересыщение пара S будет выражаться:

$$S = \left(\frac{T - T_2}{T_1 - T_2} \right)^\delta \cdot \frac{p_1 - p_2}{p_\infty(T)} + \frac{p_2}{p_\infty(T)},$$

где T, T_1, T_2 – соответственно, температуры газовой смеси в конце процесса, в начале его и температура поверхности конденсации; $p_1, p_2, p_\infty(T)$ – давление пара в газовой

смеси в начале процесса, давление пара у поверхности конденсации, давление насыщенного пара над плоской поверхностью; δ – коэффициент, зависящий от свойств вещества, образующего туман.

Функциональная зависимость $S = f(T)$ имеет максимум. Возможность определения максимального пересыщения пара, возникающего в процессе конденсации пара на поверхности, имеет большое практическое значение, так как позволяет предсказать возможность образования тумана без проведения полного расчета процесса конденсации.

Рассмотренный процесс позволил создать конденсационный пылеуловитель, в котором парогазовая смесь, двигаясь вдоль холодной поверхности трубы, конденсируется в объеме. Центрами конденсации являются частицы пыли, содержащиеся в парогазовой смеси. Частицы пыли с конденсированной на них жидкостью оседают под действием силы тяжести, тем самым, очищая газы от пыли. Использование процесса конденсации для очистки газов от пыли позволяет не только улавливать высокодисперсные фракции пыли, но и снизить затраты на очистку газа. Это связано с тем, что способ конденсационного пылеулавливания не требует дополнительных затрат энергии.

Этот метод очистки был внедрен на ОАО «САНТЭП» в г. Гомеле, где подтвердил целесообразность его использования.

УДК 631.371.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ МОБИЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АГРЕГАТА В РЕЖИМЕ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕЕЗДА

В.Б. Попов

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

Мобильный сельскохозяйственный агрегат (МСХА), состоящий из универсального энергетического средства (УЭС) и агрегатируемой с ним навесной машины, регулярно эксплуатируется в режиме транспортного переезда. Динамическая модель транспортного переезда МСХА имитирует его равномерное движение в продольной плоскости симметрии. Основным источником внешних возмущений для МСХА являются неровности с/х фона, носящие вероятностный характер и в частности микропрофиль поверхности, индуцирующий колебания МСХА. Вибрация рамы УЭС нарушает агротехнические требования, предъявляемые к технологическому процессу и отрицательно влияет как на водителя, так и на надежность работы узлов и агрегатов МСХА. Содержание работы состоит в формировании математической модели (ММ), позволяющей рассчитать параметры вибрации рамы УЭС.

Динамическая модель включает массу МСХА, его момент инерции, а также упругие и демпфирующие элементы, воспринимающие и смягчающие толчки со стороны с/х фона. Были приняты следующие ограничения: диссипативные и упругие силы в шинах УЭС пропорциональны изменению характеристик неровности; крутильные колебания трансмиссии и сидения водителя не влияют на колебания рамы; влияние навесной машины учитывается изменением положения центра тяжести МСХА; в движении колеса сохраняют точечный, но постоянный контакт с опорной поверхностью. Для данного МСХА колебания заднего и переднего моста УЭС при $\varepsilon \approx 1$ (ε – коэффициент распределения поддресоренных масс) не связаны между со-

бой, поэтому их колебания можно исследовать отдельно. Эквивалентная ММ описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, сформированным на основе уравнения Лагранжа 2-го рода:

$$\ddot{z} + 2 \cdot h \cdot \dot{z} + \omega_c^2 \cdot z = 2 \cdot h \cdot \dot{q} + \omega_c^2 \cdot q,$$

где z – вертикальное перемещение рамы; q, \dot{q} – характеристики неровности;

ω_c – частота собственных колебаний УЭС;

h – коэффициент демпфирования.

Преобразованное по Лапласу при нулевых начальных условиях полученное уравнение для переднего и заднего моста УЭС принимает вид:

$$(S^2 + 2 \cdot h_1 \cdot S + \omega_{c1}^2) \cdot Z_1(S) = (2 \cdot h_1 \cdot S + \omega_{c1}^2) \cdot Q(S)$$

$$(S^2 + 2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_{c2}^2) \cdot Z_2(S) = (2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_{c2}^2) \cdot e^{-t_0 \cdot S} \cdot Q(S),$$

где t_0 – время переезда колесами заднего моста расстояния, равного базе УЭС.

Из этих выражений определяются передаточные функции – $W_{z1}(S)$ и $W_{z2}(S)$ и соответствующие амплитудно-частотные характеристики – $|W_{z1}(j\omega)|$, $|W_{z2}(j\omega)|$ переднего и заднего мостов рамы УЭС. В результате спектральные плотности параметров вибрации рамы УЭС определяются по выражениям:

$$S_z(\omega) = |W_z(j\omega)|^2 \cdot S_q(\omega), \quad S_{\dot{z}}(\omega) = |W_z(j\omega)|^2 \cdot S_{\dot{q}}(\omega),$$

где $S_q(\omega), S_{\dot{q}}(\omega)$ – спектральные плотности характеристик неровностей.

Испытания МСХА в режиме транспортного переезда показали, что рассчитанные параметры вибрации рамы УЭС обладают удовлетворительной точностью.

УДК 621.762

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЯ АДГЕЗИИ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ

Н.В. Иноземцева, Ю.Л. Бобарикин

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

Одной из проблем при плакировании является достижение качественного соединения слоев, обеспечивающее прочное соединение покрытия с основой. На прочность соединения оказывают влияние свойства соединяемых металлов и параметры процесса – удельное давление и время его действия, температура, степень деформации, скорость деформации. Решение проблемы повышения прочности соединения между слоем покрытия и основой достаточно актуально. Целью исследования являлось выявление закономерностей формирования соединения при плакировании металлов порошковыми металлсодержащими покрытиями. Методика исследований основана на получении аналитического условия адгезии и на его экспериментальной проверке на процессе плакирования прокаткой. Определено, что для получения качественного соединения необходимо выполнение условия:

$t_d \geq t_a \geq t_p$, где t_d – время совместной пластической деформации или время перемещения контактных точек через зону деформации в процессе прокатки, с; t_a – время активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения, определяемое по расчетной зависимости [1] с; t_p – время релаксации остаточных напряжений в покрытии, определяемое по зависимости, приведенной в [1].

Экспериментальное исследование предлагаемой технологии проводили на специально сконструированной и изготовленной установке [2]. С учетом технологических режимов принятых при экспериментальных исследованиях, было рассчитано условие адгезии. Количественным критерием оценки качества адгезии принята величина угла изгиба полосы до появления отслоения. Но величина угла перегиба не отражает микроструктурные характеристики зоны соединения, а оценивает лишь технологические свойства соединения. Для оценки характера микроструктуры зоны соединения проведены микроструктурные исследования этой зоны соединения. Полученные образцы изучались металлографическим способом, который позволял оценить наличие или отсутствие соединения металлического покрытия с основой. Качество получаемых плакированных соединений исследовалось методом внешнего осмотра и на микроскопе МНР-2 (рис. 1).

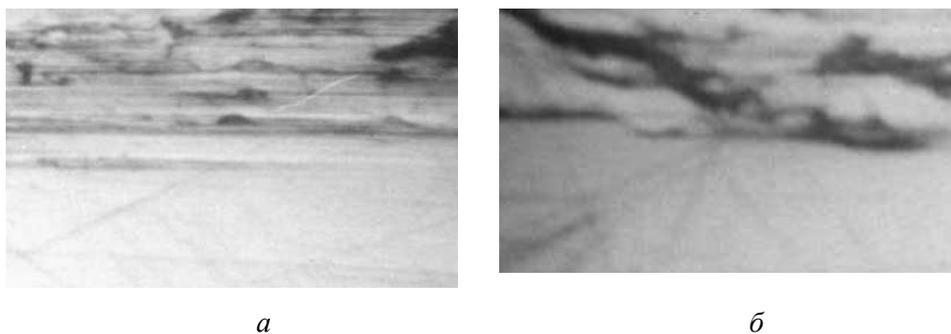


Рис. 1. Микроструктура зоны соединения при плакировании прокаткой

Анализ микроструктуры зоны показывает наличие качественного соединения для образцов, имеющих угол изгиба 180° и выше (рис. 1а), где преимущественно выполняется условие адгезии.

На рис. 1б отображена зона соединения с отсутствием адгезионных связей, для образцов имеющих угол перегиба до 180° , где условие не выполняется.

Проведенные исследования показали возможность практического использования аналитических зависимостей для оценки качества адгезионной связи для исследованного способа нанесения покрытия.

Л и т е р а т у р а

1. Бобарикин Ю.Л., Селивончик Н.В., Швецов А.Н. Аналитическое определение времени активации контактных поверхностей при плакировании //Кузнечно-штамповочное производство. – 2002. – № 11. – С. 27-31.
2. Бобарикин Ю.Л., Швецов А.Н., Селивончик Н.В., Шишков С.В. Технология нанесения порошковых покрытий на стальную полосу //Кузнечно-штамповочное производство. – 2003. – № 16. – С. 30-33.

ДИСЛОКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛОС СДВИГА В АМОРФНЫХ МАТЕРИАЛАХ

С.Н. Целуева

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

Теория пластической деформации аморфных материалов в настоящее время еще далека от своего завершения. В этой связи, а также вследствие важности значения, которое приобретают аморфные материалы в технике, назрела необходимость в математическом моделировании явлений, наблюдаемых при деформировании аморфных сплавов.

Целью данной работы явилась разработка дислокационной модели полос сдвига, возникающих при пластической деформации аморфных материалов.

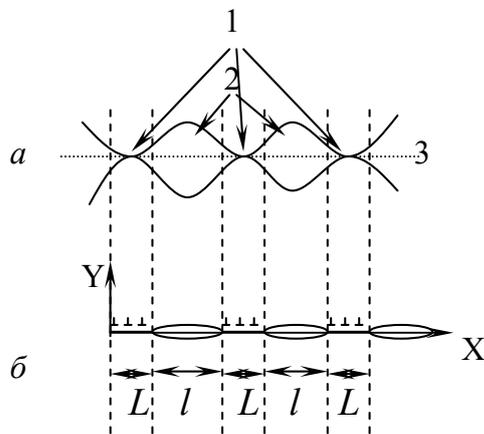


Рис. 1. Полоса сдвига: а) схематическое изображение (1 – места сцепления частей материала, находящихся по разные стороны плоскости сдвига; 2 – поры; 3 – плоскость сдвига); б) дислокационная модель полосы сдвига

Полоса сдвига при негетогенной пластической деформации аморфных сплавов схематически может быть изображена в виде, представленном на рис. 1а. Полосу сдвига образуют поры и области взаимодействия частей материала, находящихся по разные стороны плоскости сдвига. Для описания напряженного состояния в полосе сдвига предположим, что напряжения локализованы в областях взаимодействия (стрелки 1 на рис. 1а). Для удобства описания этих напряжений зададим их суперпозицией напряжений, формируемых скоплением полных дислокаций. Пусть это скопление будет представлять собой цепочку краевых дислокаций. Тогда смоделированная таким образом полоса сдвига будет иметь вид, представленный на рис. 1б.

Приняв некоторые допущения, нетрудно показать, что в общем виде выражение для определения тензора напряжений такой полосы сдвига имеет вид:

$$\sigma_{ij} = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \sigma_{ij} (x + nd + m(l + Nd), y),$$

где $M = L_{nc} / (Ll)$ (здесь L_{nc} – длина полосы сдвига; L – длина цепочек дислокаций; l – размер пор) – число пор; $N = L/d$ (здесь d – расстояние между дислокациями в скоплении) – число дислокаций в скоплении; m и n – индексы суммирования.

Анализ результатов компьютерного расчета полей напряжений у полосы сдвига показывает, что нормальные напряжения знакопеременны по отношению к плоскости, в которой находится полоса сдвига, а также локализованы у полосы сдвига и убывают с удалением от нее. Скальвающие напряжения меняют знак при переходе от устья полосы сдвига к ее вершине и далее.

Таким образом, предложена новая дислокационная модель полосы сдвига аморфного материала, учитывающая особенности строения полосы. На основании данной модели получены аналитические выражения для компонент тензора напряжений, возникающих у полосы сдвига, рассмотрены конфигурации этих полей напряжений.

УДК 621.9

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

А.В. Шевченко

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Эффективным способом повышения производительности токарной обработки является использование резцедержателей с упругими элементами, которые позволяют повысить точность позиционирования режущего инструмента, обеспечивают возможность вибрационной обработки для надежного дробления стружки в процессе резания, создают условия для повышения устойчивости процесса резания за счет рационального использования динамических процессов в упругих замкнутых технологических системах металлорежущих станков.

В связи с непрерывным повышением требований к точности малых перемещений, устройства с использованием традиционных кинематических звеньев часто не обеспечивают необходимой точности позиционирования рабочих органов станков в микрометрическом диапазоне. Для этого в приводах станков могут использоваться упругие кинематические устройства, выполняющие функции направляющих и исключающие влияние внешнего трения в последней передаче привода на точность позиционирования.

При обработке многих материалов особенно таких как высоколегированные стали и ряд сплавов цветных металлов, стружка имеет характер длинной непрерывной ленты или спирали. Наличие такой стружки, получившей название «сливной», является отрицательным фактором обработки металлов резанием. Вибрационное резание является одним из эффективных и надежных методов дробления стружки в процессе резания, а использование специальной инструментальной оснастки с упругими элементами для дробления стружки является одним из перспективных направлений повышения производительности обработки материалов.

При обработке на станках, которые имеют высокую жесткость, в процессе резания могут возникать автоколебания, которые ограничивают допустимые режимы резания, снижают качество изделий, а иногда приводят к выкрашиванию режущих кромок инструмента. Повышение виброустойчивости процесса резания может быть достигнуто изменением параметров упругой системы станка (например, изменением ориентации главных осей жесткости станка), или созданием высокого демпфирования с помощью специальной инструментальной оснастки с упругими элементами.

На кафедре конструирования станков и машин Киевского политехнического института на уровне изобретений создан ряд эффективных конструкций резцедержателей для токарно-револьверных станков, которые обеспечивают повышение производительности токарной обработки за счет указанных выше эффектов.

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВРАЩАЮЩИЙСЯ ЗАЖИМНОЙ ГИДРОЦИЛИНДР МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

В.Б. Струтинский, А.В. Литвин, А.М. Кравец

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

Для зажима обрабатываемой детали в патронах токарных, токарно-револьверных и круглошлифовальных станках применяются вращающиеся гидравлические цилиндры, которые крепятся на задней части шпинделя. Они связаны с патроном с помощью специальной тяги, которая проходит через отверстие в шпинделе.

Известный ряд конструкций цилиндров аналогичного назначения, которые изготавливаются в основном двух типов: с отверстием в штоке для размещения прутковой заготовки и без него. К недостаткам конструкций этих цилиндров следует отнести значительные потери рабочей жидкости сквозь подшипники качения и относительно низкую частоту обращения.

На кафедре конструирования станков и машин механико-машиностроительного института НТУУ «КПИ» разработана, теоретически рассчитана и изготовлена в металле для промышленных испытаний новая конструкция высокоскоростного гидроцилиндра (рис. 1) для токарного станка с ЧПУ, которая обеспечивает надежный зажим детали и имеет минимальные потери рабочей жидкости. Конструкция легко вписывается в габариты шпиндельного узла и коробки скоростей токарных станков ряда 16К20 и КА-280 производства ОАО «Веркон» (Киев). Характеристики конструкции: рабочая частота обращения – до 6000 мин⁻¹, присоединительный размер до трубы зажима станка – 7М74 х 1,5, диаметр штоковой полости 68 мм, ход поршня – 12 мм.

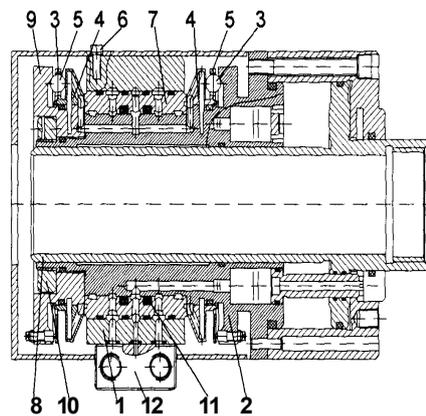


Рис. 1. Общий вид гидроцилиндра

Зажимный гидроцилиндр состоит из двух частей: механизма подвода рабочей жидкости к гидроцилиндру и гидроцилиндра зажима, который имеет шток со сквозным отверстием, корпус и крышку 3. Вращающийся подвод состоит из двух частей: стальной корпус 1 и бронзовая втулка 7 с радиальными проточками на внешней поверхности для размещения уплотнений, которая центрируется по внешнему диаметру корпуса 2 и взаимодействует с двух сторон с дисками с конической поверхностью с одной стороны 4 и крышкой 3. Конусный диск 8 контактирует с торцом втулки 7 и

создает натяжение с помощью стопорной гайки 8 с упругим элементом через диск конусный правый 4 и крышку гидроцилиндра 3. Диск конусный 4 имеет несколько кольцевых проточек разных диаметров, соединенных между собою радиальными отверстиями и отверстиями, оси которых параллельные конической поверхности диска, для охлаждения торцевых поверхностей диска 4, что взаимодействуют с бронзовой втулкой. Такая конструкция поверхности диска создает импеллерный насос, который за счет циркуляции жидкости отводит тепло от поверхности бронзовой втулки и диска 4.

Высокоскоростной зажимный гидравлический цилиндр может быть рекомендован для применения на современных высокоскоростных токарных станках с ЧПУ.

УДК 621.9.06

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТОК МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В УКРАИНЕ

А.В. Литвин

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

В ближайшие годы станкостроительная отрасль Украины исходя из показателей состояния экономики будет сориентирована в основном на сохранение и загрузку своего собственного промышленного и научного потенциала. Пути дальнейшего развития области в этот период будут следующие:

- производство профильной техники, которая имеет спрос на внутреннем и внешнем рынках;
- ремонт, восстановление и модернизация имеющегося в эксплуатации отечественного и импортного оснащения;
- производство непрофильной для области продукции с целью дозагрузки производства и возможности перепрофилирования отдельных производства, в т. ч. на требование и по решению акционеров;
- сохранение и расширение экспортного потенциала отрасли как основного источника поступления средства.

Наряду с этим планируется организация новых корпоративных структур за региональным или функциональным принципом, вплоть до слияния (объединения) отдельных предприятий.

Главным противоречием структурного состава станкостроительной промышленности являются ее избыточные мощности, в особенности в производстве станочной техники и кузнечно-прессового оборудования, которые вызовут свертывание производства с его отрицательными последствиями. Основным фактором, который вызовет эту диспропорцию, является значительное сокращение производства, прекращение технического перевооружения в областях промышленности, являющихся потребителями продукции станкостроения.

Главная цель промышленной политики в станкостроении на 2004 год – обеспечение потребностей машиностроения Украины в отечественных средствах производства: станках, кузнечно-прессовом оборудовании, технологическом оснащении и инструменте.

Основные задачи этой политики:

- создание новых конкурентоспособных образцов техники, повышение конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках;

- обеспечение опережающих темпов выпуска наукоемкой продукции высокого технологического уровня;
- повышение качества продукции и эффективности производства, обновление основных производственных фондов.

Потенциал станкостроительной и инструментальной области Украины – 96 промышленных предприятий и 21 научно-исследовательская организация с общим количеством работающих свыше 32,5 тыс. чел., из них: 20 заводов по производству металлорежущих и деревообрабатывающих станков, 5 – полиграфического машиностроения, 12 – по производству кузнечно-прессового и литейного оборудования, 12 инструментальных, 27 – по производству комплектующих изделий общепромышленного назначения, технологического оборудования и специальной технологической оснастки. В структуре области являются ремонтные предприятия, сервисные центры, карьеры, вспомогательные и малые предприятия. Научный потенциал области: 6 научно-исследовательских институтов, 12 специальных конструкторских бюро. 12 научных организаций прошли аттестацию на оценку уровня развития научно-технического потенциала и результатов их научной деятельности.

Сегодня украинское станкостроение владеет производственными мощностями для ежегодного выпуска 30,5 тыс. шт. металлорежущих станков, 7,5 тыс. шт. кузнечно-прессового оборудования, 110 тыс. шт. деревообрабатывающих станков.

За счет собственных средств, ведущими предприятиями Украины: ОАО «Киевский станкостроительный концерн «Веркон», ОАО «Харверст» (г. Харьков) подготовлена гамма высокопроизводительных токарных и шлифовальных станков для подшипниковой промышленности; ОАО «Краматорский завод трудного станкостроения» презентовал бесцентрово-токарный станок для обработки поверхности круглого проката и толстостенных труб для металлургической промышленности, модернизировал вальцетокарные станки для Новокраматорского машиностроительного завода. Одесским ОАО «Пресмаш» спроектированы и изготовлены специальные прессы для бумажной промышленности, универсальные фрезерные станки с синтеграновыми базовыми деталями, освоенные на ОАО «Одесский завод прецизионных станков «Микрон», прессы усилием 2500 кН на ОАО «Пресмаш» г. Ивано-Франковск, автоматы для изготовления крепежных изделий на ОАО «Одесское предприятие по выпуску кузнечно-прессовых автоматов», ленточнопильные станки на Сумском ОАО «Верстатотехмаш», современные полиграфические и печатные линии на ВАТТ «Киевополиграфмаш» и т. д.

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛОСТИ, ОБРАЗОВАННОЙ СООСНЫМИ ЦИЛИНДРАМИ

Г.Г. Ефименко, В.И. Столбецов

*Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения, г. Королев, Россия*

При исследовании динамики летательных аппаратов с жидким топливом на борту обычно используется линейная модель колебаний жидкости, в которой координаты и скорости, определяющие перемещение жидкости, предполагаются малыми. В уравнениях движения отбрасываются члены, содержащие эти координаты в степени выше первой, а также их произведения. Достаточно часто имеет место такое разнесение частоты основного тона и частот, соответствующих высшим тонам, что

последние практически не возбуждаются. В таких случаях целесообразно рассматривать упрощённые нелинейные уравнения колебания жидкости, в которых учитываются лишь два немалых параметра r и p , соответствующие первому тону колебаний жидкости в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Эти уравнения позволяют описать такие нелинейные эффекты, как зависимость резонансной частоты от амплитуды колебаний и возникновение так называемой круговой волны. Уравнения нелинейных колебаний, полученные с применением метода возмущений, имеют следующий вид:

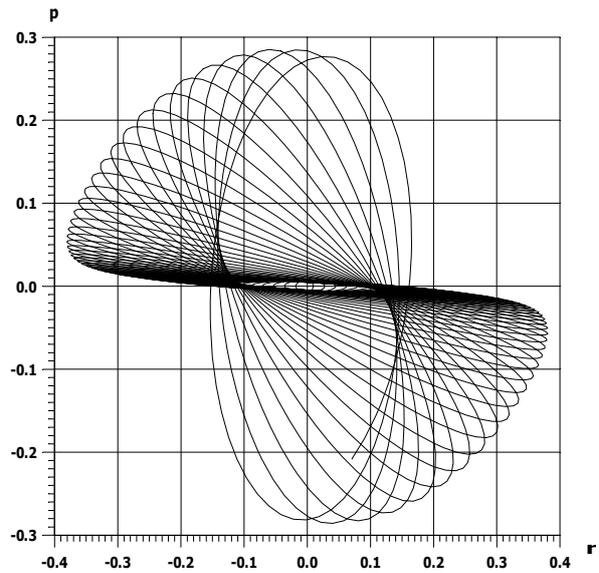


Рис. 1

$$(\ddot{r} + \varepsilon_r \dot{r} + \omega_r^2 r) + A\ddot{r}r^2 + B\ddot{r}p^2 + Crp\ddot{p} + Dr\dot{p}^2 + Er^2 r + Fr\dot{p}p + Gr^3 + Hrp^2 = A_r \sin(\omega_{fr} t + \mathcal{G}_r) \quad (1)$$

$$(\ddot{p} + \varepsilon_p \dot{p} + \omega_p^2 p) + A\ddot{p}p^2 + B\ddot{p}r^2 + Crp\ddot{r} + Dp\dot{r}^2 + Ep^2 p + Fr\dot{p}r + Gp^3 + Hpr^2 = A_p \sin(\omega_{fp} t + \mathcal{G}_p).$$

Для полости, образованной соосными цилиндрами с плоским дном, составлен алгоритм вычисления коэффициентов A, B, C, D, E, F, G , стоящих при нелинейных членах уравнений (1). Численное интегрирование уравнений (1) показало, что учет нелинейных членов в уравнениях колебаний жидкости позволяет воспроизвести эффект возбуждения колебаний жидкости в направлении оси OZ при вынужденных колебаниях в направлении оси OY цилиндрического бака с осью симметрии OX , наблюдаемый в эксперименте. Этот эффект иллюстрирует представленный рис. 1, на котором изображен годограф в плоскости координат r и p . Годограф построен по результатам численного интегрирования уравнений (1) для случая вынужденных колебаний цилиндрического бака радиусом $R_0 = 1$ с цилиндрической вставкой радиусом $\delta = 0.1$, заправленного жидкостью до уровня $h = 1$. Вынуждающая сила действует по координате r ($A_r = 0.01, A_p = 0$) с частотой $\omega_r = 1.3$, близкой к частоте колебаний жидкости ($\omega_r = \sqrt{1.078} = 1.307$).

СЕКЦИЯ В. АЭРОДИНАМИКА; ПНЕВМО- И ГИДРОСИСТЕМЫ МАШИН И АППАРАТОВ

УДК 629.114

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАЗВЕТВЛЕННОГО ГИДРОПРИВОДА

В.П. Автушко, М.И. Жилевич

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

При разработке методики автоматизированного моделирования динамических процессов в гидро приводах (ГП) и алгоритмов автоматического формирования системы дифференциальных уравнений (ДУ) по расчетной схеме потребовались новые формализованные математические модели элементов ГП, в частности модель разветвления в приводе. На практике для оценки динамических характеристик разветвленного ГП ограничиваются моделированием отдельных контуров. Однако конструктивные параметры одной из ветвей и нагрузка на установленный в ней гидроцилиндр (ГЦ) могут оказывать существенное влияние на динамику другой ветви, что приводит к значительному отличию от характеристик, полученных при расчете каждой из ветвей раздельно.

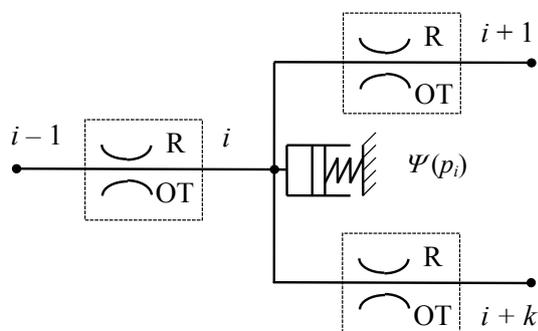


Рис. 1. Расчетная схема

Поставлена задача выбрать рациональную расчетную схему (РС) разветвления, соответствующую концепции автоматизированного моделирования динамики ГП.

Рассмотрен вариант, когда в узле разветвления (УР) i учитывается сжимаемость рабочей жидкости (РЖ) (рис. 1). Участки ГП представляют собой некоторый обобщенный трубопровод ОТ с эквивалентным сопротивлением R и описываются ДУ, полученными из условия баланса давлений:

$$d^2 x_i / dt^2 = [p_{i-1} - p_i - (A_{2i} + B_{2i})(dx_i / dt)^2 \operatorname{sgn}(dx_i / dt) - A_{3i}(dx_i / dt)] / A_{1i}, \quad (1)$$

где p_i – давление в узле с соответствующим номером; A_{1i} , A_{2i} , A_{3i} , B_{2i} – коэффициенты, зависящие от конструктивных параметров привода; x_i – перемещение столба РЖ.

Баланс расходов РЖ для УР, кроме расходов $Q_i = f_i(dx_i/dt)$ в трубопроводах с сечением f_i , учитывает расход $Q_{id} = V_i \cdot \Psi(p_i) \cdot (dp_i/dt)$ на сжимаемость сосредоточенного в УР объема V_i жидкости: $Q_i - Q_{i+1} - Q_{i+k} - Q_{id} = 0$, где $\Psi(p_i)$ – коэффициент податливости РЖ. Откуда получим уравнение, совместно с ДУ вида (1), описывающее рассматриваемую РС:

$$dp_i/dt = [f_i(dx_i/dt) - f_{i+1}(dx_{i+1}/dt) - f_{i+k}(dx_{i+k}/dt)]\Psi(p_i)/V_i.$$

Проанализирована РС, когда УР непосредственно соединен с участками ГП с ГЦ. Тогда в УР сосредоточена РЖ, заполняющая трубопроводы и переменные объемы полостей ГЦ. Для упрощения алгоритма автоматического синтеза системы ДУ следует отдать предпочтение РС, когда УР и участки с ГЦ разделены узлом с податливостью.

Для моделирования ГП без учета сжимаемости РЖ из РС исключается емкость, имитирующая $\Psi(p_i)$. Уравнение баланса расходов $Q_i = Q_{i+1} + Q_{i+k}$ для УР алгебраически связывает параметры движения РЖ в трубопроводах. После трудоемких и рутинных преобразований получена система из 2-х ДУ с коэффициентами В и С, выражения для расчета которых имеют громоздкий вид и содержат производные в 1-й и 2-й степени:

$$\ddot{x}_{i+1} = [(f_i A_{1i+k} + f_{i+k} A_{1i})B - (f_{i+k} A_{1i})C] / [f_i A_{1i+1} A_{1i+k} + f_{i+1} A_{1i} A_{1i+k} + f_{i+k} A_{1i} A_{1i+1}];$$

$$\ddot{x}_{i+k} = [(f_i A_{1i+1} + f_{i+1} A_{1i})C - (f_{i+1} A_{1i})B] / [f_i A_{1i+1} A_{1i+k} + f_{i+1} A_{1i} A_{1i+k} + f_{i+k} A_{1i} A_{1i+1}].$$

По результатам анализа различных РС сделан вывод, что наиболее рациональной для автоматизированного моделирования является схема с податливостью в УР, так как позволяет структурировать общую модель привода, упрощает процесс формализации и облегчает переход к автоматическому синтезу математической модели.

УДК 62-82-112

О ВЫБОРЕ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ФОРСИРОВАННОГО ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА

А.В. Михневич, Н.Н. Михневич, Ю.А. Андреев

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

Одной из актуальных задач современного гидромашиностроения является повышение надежности и долговечности объемных гидроприводов при одновременном повышении рабочего давления, т. е. при форсировании гидропривода по давлению. Решение этой задачи требует более обоснованного выбора рабочей жидкости как основного агента гидропривода, обеспечивающего его нормальное функционирование. Существенным для нормальной работы объемного гидропривода является обеспечение устойчивого режима жидкостного трения в зазоре между контактирующими поверхностями распределительного узла аксиально-поршневых гидромашин при минимальных утечках и перетечках рабочей жидкости. При чрезмерном повышении рабочего давления режим жидкостного трения в распределительном узле нарушается, возрастают потери на трение и, соответственно, износ и тепловыделение. Режим жидкостного трения поддерживается, если величина зазора больше величины суммарной шероховатости контактирующих поверхностей распределительного узла [1].

Анализ динамики распределительного узла аксиально-поршневых гидромашин на основе принципа минимума диссипации механической энергии в зазоре между контактирующими поверхностями распределительного диска и блока цилиндров позволил сформировать следующие требования к минимальной вязкости рабочей жидкости, обеспечивающей поддержание режима жидкостного трения в зазоре:

$$\mu \geq k \frac{4 \cdot R_z^2 \cdot P_0}{\omega} \sqrt{\frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) + \ln\left(\frac{R_4}{R_3}\right)}{R_4^4 - R_1^4}}}, \quad (1)$$

где R_z – шероховатость контактирующих поверхностей распределительного узла;

ω – частота вращения блока цилиндров;

P_0 – максимальное рабочее давление;

R_1, R_2, R_3, R_4 – радиусы распределительного диска [1].

Из приведенного соотношения (1) следует, что с увеличением давления рабочей жидкости (т. е. при форсировании гидропривода по давлению) требования к вязкости рабочей жидкости возрастают, что хорошо согласуется с опытом эксплуатации объемных гидроприводов. Из выражения (1) также следует, что при увеличении относительной скорости скольжения контактирующих поверхностей распределительного диска (т. е. частоты вращения ω) необходима рабочая жидкость с меньшей вязкостью. Для объемных гидроприводов на базе аксиально-поршневых гидромашин 207,25 ($R_4 = 37,5$ мм, $R_3 = 32$ мм, $R_2 = 16$ мм, $R_1 = 10,5$ мм) при $\omega = 50$ 1/с, $R_z = 0,16$ мкм и $P_0 = 20$ МПа расчет по формуле (1) дает $\mu_{\min} = 6$ сСт при рабочей температуре 70°C .

Л и т е р а т у р а

1. Михневич А.В., Андреев Ю.А. О величине зазора в распределительном узле аксиально-поршневых гидромашин //Тезисы докладов междунар. НТК «Современные проблемы машиноведения». – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2002. – С. 94-95.

УДК 62-82-112.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ

В.В. Пинчук, А.В. Лифанов

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

В настоящее время гидропривод широко используется в различных типах высокопроизводительного оборудования. Поэтому постоянно возрастает потребность в разработке новых, а также модернизации старых гидроприводов. В связи с этим снижение сроков и затрат на проектирование и поставку на производство новых гидроприводов является важнейшим требованием.

Автоматизацию расчетов параметров гидросистемы можно выполнить при помощи любой САД-системы. Наиболее удобно для этого использовать построение гидроблока при помощи стандартизованной элементной базы. Наибольшую сложность при этом составляет процесс преобразования ПС в схему соединения. Принцип такого преобразования в общих чертах состоит в сравнении общих «точек» ПС с подобными точками фрагментов схемы соединений (под «точкой» будем понимать соединение выводов нескольких гидроаппаратов). Для этого удобно представить «точки» исходной ПС и соединительно-монтажного модуля (СММ) в виде строк матрицы. В соответствии с таким методом можно составить блок-схему основного

алгоритма. Также необходимо ввести дополнительную рабочую матрицу, которую можно будет изменять в процессе выполнения алгоритма сравнения.

В результате выполнения вышеописанных алгоритмов составляется матрица-результат следующего вида:

$$R = \begin{bmatrix} t_1 & r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & M_1 & N_1 & K_1 & C_1 \\ t_2 & r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & M_2 & N_2 & K_2 & C_2 \\ t_3 & r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & M_3 & N_3 & K_3 & C_3 \\ t_4 & r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & M_4 & N_4 & K_4 & C_4 \\ t_5 & r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & M_5 & N_5 & K_5 & C_5 \\ \dots & \dots \\ t_y & r_{y1} & r_{y2} & r_{y3} & r_{y4} & M_y & N_y & K_y & C_y \\ \dots & \dots \\ t_q & r_{q1} & r_{q2} & r_{q3} & r_{q4} & M_q & N_q & K_q & C_q \end{bmatrix},$$

где t_y – номер исполнения модуля;

r_{yx} – номер гидроаппарата, присоединенного к грани x модуля y ;

M_y, N_y, K_y, C_y – информация о каналах M, N, K, C (закрыт сверху, закрыт снизу, закрыт сверху и снизу);

q – количество унифицированных блоков в полученной схеме.

Для выбора оптимальной схемы – той, которая построена на меньшем количестве унифицированных блоков, необходимо построить несколько матриц вида R . После этого необходимо выбрать ту матрицу R , для которой значение q минимально.

С учетом использования математического описания ПС, СММ, а также преобразования ПС в схему соединений, весь процесс можно легко автоматизировать при помощи современных средств САПР. Это даст возможность не только быстро составить матрицу-результат, но и получить изображение схемы соединений ГУ, что в свою очередь позволит значительно сократить время и затраты на проектирование и внедрение.

УДК 62-82-112.6 (083.13)

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГИДРОАППАРАТОВ

В.В. Пинчук, А.В. Лифанов

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

На основе аналитических исследований принципов построения гидравлических схем проводов машин установлено, что схемы состоят из элементарных схем: «подготовки и предохранения», «реверса» и «сложных движений», при конструктивном решении которых в виде самостоятельных узлов задача построения конструкции гидроблока управления (ГУ) сведется лишь к определению номенклатуры и количества узлов и соединению их между собой.

В существующих конструкциях гидроаппаратов на каждом отдельном гидроаппарате конструкторы стремятся получить минимальную материалоемкость, мак-

симальную пропускную способность и т. д. В результате для объединения в соответствии с гидросхемой аппаратов в гидроблоки приходится создавать в каждом конкретном случае оригинальные конструкции. При этом резко возрастают трудоемкость и стоимость изготовления привода, так как оригинально созданные конструкции всегда дороже серийных.

В настоящей статье обоснованы предложения по преобразованию и приведению к стандартному виду присоединительных размеров гидроаппаратов. Данные преобразования позволяют создать конструкции унифицированных узлов ГУ.

Число вариантов соединения гидроаппаратов между собой, а следовательно, и число исполнений соединительного корпуса – соединительно-монтажного модуля (СММ) определится из формулы

$$B = k!m^k, \quad (1)$$

где B – число исполнений модуля; k – число гидроаппаратов в схеме; m – число исполнений рисунков расположения присоединительных отверстий на плоскости модуля при установке на нее гидроаппарата в прямом и обратном положениях (для существующих конструкций гидроаппаратов $m = 2$).

Подставив в (1) $k = 4$ и $m = 2$ – данные для узла подготовки и предохранения, получим $B = 384$. В результате расположения в гидроаппаратах крепежных отверстий прямоугольником, а отверстий входа и выхода – на одинаковом расстоянии от центра пересечения осей симметрии крепежных отверстий и на оси, проходящей через центр, т. е. при развороте гидроаппарата на 180° , присоединительные отверстия на его притычной плоскости будут иметь один и тот же рисунок (настоящее преобразование соответствует $m = 1$).

Чтобы обеспечить все возможные варианты соединений четырех- и двухходовых гидроаппаратов для узла сложных движений ($B = 5376$) в конструкции СММ необходимо выполнить сверление коммутационных отверстий в двух различных по высоте уровнях. Преобразованные таким образом гидроаппараты соответствуют рис. 1.

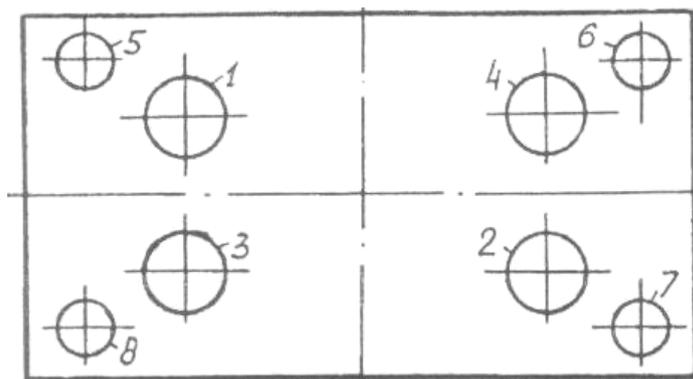


Рис. 1. Схема притычной плоскости присоединительного блока (1–4 отверстие подвода P , слива T ; и к исполнительным органам A , B ; 5–8 – крепежные отверстия)

Таким образом, создание конструкций гидроаппаратов с учетом полученных решений обеспечит возможность синтеза ГУ различных гидрофицированных машин методом агрегатирования с минимальным числом оригинальных конструкций, сократит сроки и затраты на разработку и поставку на производство всей машины.

УДК 621.438

РАСЧЕТ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ В ПЛАСТИНЧАТОМ НАСОСЕ

Е.И. Станюк

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Одной из проблем трибологии является повышение износостойкости деталей пар трения. В данной работе в качестве объекта исследования приняли пары трения в пластинчатом насосе. В пластинчатом насосе пластины, введенные в силовое контактное взаимодействие, одновременно совершают относительное перемещение. В насосе наиболее важными являются следующие пары трения: пластина – статор, пластина – ротор. Фрикционный контакт – это область, примыкающая к границе раздела пластины и статора (а также пластины и ротора), в которых сосредоточены процессы массового и теплового переноса, обуславливающие потери на трение и износ пары трения.

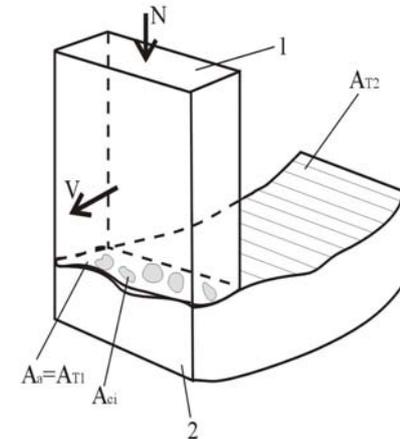


Рис. 1

Форма и размеры поверхности контакта и поверхностей трения зависят от геометрии и кинематики элементов сопряжения. При изучении изнашивания в качестве независимых переменных наряду с продолжительностью трения t_T выступают путь L_T и работа W_T трения. Если обозначить через v_1 , v_2 – абсолютные скорости движения тел в точке контакта, $v_{ск} = |v_1 - v_2|$ – скорость скольжения, то при постоянстве силы трения и скорости скольжения перечисленные величины будут связаны между собой соотношением:

$$L_T = v_{ск} t_T = \frac{W_T}{T}.$$

Массовый износ со всей поверхности трения будет:

$$M(\tau) = \iint_{\pi_T} m(x, y, \tau) dx dy = \int_{\pi_T} m W_T.$$

Если учитывать незначительность толщины пластины, то принимаем, что касание пластины о статор осуществляется по прямолинейному участку. Расчет износа в этом случае производится при следующих предположениях: 1) интенсивность изнашивания пропорциональна контактному давлению, т. е. $I = Kq$, где K – коэффициент интенсивности изнашивания; 2) распределение давления q пластины на статор сохраняется неизменным в процессе эксплуатации и определяется с учетом деформаций пластины:

$$q(l) = a_0 + \frac{4a_2}{l_0^2} \left(l - \frac{l_0}{2} \right)^2,$$

l_0 – толщина пластины; a_0, a_2 – коэффициенты, связывающие геометрические параметры пластин и характеристики материала пластин. Когда пластина совершает однотипные циклические движения, износ пластины описывается соотношением:

$$h(x) = \frac{KL}{l_m} \left[2(a_0 + a_2)l - 4a_2 \frac{l^2}{l_0} + \frac{8}{3}a_2 \frac{l^3}{l_0^2} \right]_{l_1}^{l_2}.$$

В докладе представлены результаты расчета износа пластин в пластинчатом насосе по представленной методике.

УДК 625.08

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

А.М. Щемелев, А.С. Шибeko

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

Одним из наиболее важных вопросов для эксплуатирующих организаций при выборе новой мобильной техники является себестоимость единицы продукции производимой этой техникой. Широко известен тот факт, что от тридцати до сорока процентов плано-расчетной стоимости машино-часа работы мобильной машины составляют затраты на топливо. Снижение величины энергопотребления мобильной машины, в силу вышеизложенных причин, и не только, является важнейшим вопросом и для проектирующих организаций. Идея энергосбережения за счет рекуперативного торможения, в основе которого лежит принцип накопления кинетической энергии, возникающей при торможении мобильной машины и использовании накопленной энергии при разгоне, известна давно и позволяет экономить до 20 % топлива. Благодаря интенсивному совершенствованию гидропривода, повышению его надежности, увеличению рабочих давлений стало возможным применение систем рекуперативного торможения на основе гидравлических элементов. Авторами разработано несколько вариантов таких систем, позволяющих в процессе торможения накапливать энергию за счет использования гидромотора, кинематически связанного с двигателем и закачивающего жидкость в гидроаккумулятор с последующей отдачей ее в момент разгона на снижение загрузки ДВС, что в конечном этапе приведет к сокращению времени цикла и экономии топлива.

Целью исследований являлось создание математической модели и ее реализация в прикладной программе с объектно-ориентированным интуитивно-понятным интерфейсом, позволяющей автоматизировать выбор рациональных параметров системы рекуперативного торможения гидрофицированных мобильных машин. Исходными для программы являются следующие данные: вес машины, передаточные числа и массовые характеристики вращающихся элементов трансмиссии, силовой радиус колеса двигателя, скорость машины в момент начала торможения, коэффициент сцепления колес двигателя с дорогой, коэффициент сопротивления перекатыванию машины как тележки, уклон дороги, рабочий объем тормозящего гидронасоса, характеристики зарядки гидроаккумулятора. Выходные данные: время торможения до полной остановки (согласно СТБ ИСО 3450-2001), тормозной путь, вместимость гидроаккумулятора, минимально необходимый для осуществления одного цикла

торможения при максимально возможном рабочем давлении в гидросистеме, момент сопротивления на тормозящем гидронасосе, кинетические энергии и частоты вращения элементов трансмиссии.

Использование энергосберегающей тормозной системы представляет наибольший интерес для мобильных машин, работающих большую часть времени рабочего цикла в режиме «разгон – торможение» – это такие машины, как пневмоколесные фронтальные погрузчики, городской пассажирский автотранспорт и т. д. В транспортном режиме вышеописанную систему можно отключать и использовать штатную тормозную систему.

Результатом исследований являются рациональные параметры систем рекуперативного торможения, применимых для наиболее распространенных одноковшовых фронтальных погрузчиков, как представителей класса мобильных гидрофицированных машин. Анализ возможности использования систем рекуперативного торможения, при времени рабочего цикла 40 с, на наиболее распространенных одноковшовых фронтальных погрузчиках показал, что экономия топлива может достигать 20 %.

УДК 629.114:004.94

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

О.В. Пузанова, В.П. Тарасик

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

Потенциальные свойства машины в реальных условиях эксплуатации не используются в полной мере, что снижает ее эффективность. Это объясняется влиянием окружающей среды, создаваемыми этой средой помехами и несовершенством применяемых систем управления. Оптимальное управление позволяет существенно повысить показатели эффективности машины и качества процессов функционирования ее механизмов и систем.

Объект исследований – гусеничная машина двойного назначения полной массой 35 т с гидромеханической передачей. Цель работы – синтез адаптивного алгоритма автоматического управления гидромеханической передачей и оценка влияния параметров характеристик автоматической системы на показатели эффективности машины.

Для решения задачи синтеза алгоритма управления построена математическая модель движения машины в условиях внешней среды; обоснован выбор критериев оптимальности характеристик управления и определены их параметры. Проведено моделирование движения машины в различных дорожных условиях и выявлены зависимости параметров характеристик управления от параметров машины, внешней среды и управляющих воздействий водителя. В качестве показателей эффективности программы управления приняты средняя скорость движения v_{cp} , км/ч и путевой расход топлива Q_s , л/100 км. В результате исследований установлены основные факторы, оказывающие влияние на показатели эффективности. В их число входят: скорости, при которых осуществляется переключение передач и блокирование гидротрансформатора; параметры скоростных режимов работы двигателя, определяемые положением педали акселератора; ускорение машины; продольный уклон дороги; параметры микропрофиля дороги; интенсивность управляющих воздействий во-

дителя. Изменение этих факторов необходимо учитывать для получения оптимальных характеристик управления гидромеханической передачей и создания адаптивного алгоритма.

Поскольку факторов много, то с целью минимизации их количества выполнен корреляционный анализ, позволивший исключить часть факторов с максимальной взаимной корреляцией. В результате были выбраны необходимые и достаточные информационные переменные, позволяющие адаптировать программу управления к изменяющимся условиям движения машины. Проведен регрессионный анализ результатов математического моделирования движения машины, и получены регрессионные модели характеристик управления, на основании которых разработан адаптивный алгоритм автоматического управления гидромеханической передачей гусеничной машины.

Для обеспечения надежного функционирования алгоритма управления характеристики переключения передач вверх и вниз, блокирования и разблокирования гидротрансформатора должны различаться между собой. Для этого вводится гистерезис характеристик управления. Определены оптимальные параметры гистерезиса этих характеристик, исключающие чрезмерно частые необоснованные переключения передач.

Исследования показали высокую эффективность разработанного алгоритма по сравнению с командным управлением. Синтезированный адаптивный алгоритм автоматического управления принят к реализации и использованию на упомянутой гусеничной машине.

УДК 621.83.06

МЕХАНИЗМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ВО ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ НА БАЗЕ ЭЛЛИПСНОЙ ШАРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

М.Е. Лустенков

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

Целями исследований являлось создание механизма поршневого насоса на базе планетарной передачи с телами качения в зацеплении, разработка математической модели зацепления, моделирование процесса преобразования вращательного движения во возвратно-поступательное, кинематический анализ механизма.

Математическая модель передачи представляет собой пересечение на цилиндрической поверхности одного радиуса двух периодических (синусообразных) кривых с одинаковой амплитудой $A_1 = A_3$ и числом периодов Z_1 и Z_3 и описывается уравнением [1]:

$$A_1 \sin(Z_1 \varphi) - A_3 \sin(Z_3 \varphi) = 0,$$

где φ – угол в цилиндрической системе отсчета, изменяющийся от 0 до 2π в плоскости, перпендикулярной оси передачи.

На практике математическая модель реализуется следующим образом. Две детали трубчатой формы фрезеруются под одинаковым углом. Пренебрегая толщиной стенок деталей, их торцы могут рассматриваться как эллипсы. Развертки эллипсов на плоскость есть однопериодные синусоиды ($Z_1 = Z_3 = 1$) и при совмещении их сред-

них кривых (торцы деталей обращены друг к другу, один кулачок входит во второй) механизм удовлетворяет математической модели (1). Точки пересечения эллипсов – тела качения. Математически доказано постоянство углового расстояния между телами качения, поэтому в конструкцию вводится третья деталь цилиндрической формы – вал с пазами, параллельными оси передачи.

Эллипсные шариковые передачи (ЭШП) позволяют создавать механизмы преобразования вращательного движения во возвратно-поступательное, что позволяет разрабатывать объемные насосы на базе этой передачи [2]. При этом на выходном валу фрезеруется только один паз, параллельный оси редуктора, а симметрично ему – цилиндрическое углубление с радиусом шарика. Тогда при вращении ведущего вала (внутреннего кулачка) под действием наложенных связей, выходной вал будет не только вращаться, но и совершать возвратно-поступательное (колебательное) движение. Выходной вал связывается с поршнем, при этом удаляются связи на его осевое перемещение. Скорости и ускорения выходного вала будут изменяться по синусоидальному закону. Теоретические расчеты показали, что даже при значительных частотах вращения ведущего вала ($n = 1000$ об/мин), максимальная линейная скорость движения поршня не будет превышать 1 м/с, что свидетельствует о возможности создания поршневого насоса на базе ЭШП, как с ручным приводом, так и с приводом от электродвигателя.

Результатом работы явилась разработка рабочей документации насоса поршневого (НП-1), а также рекомендации по его изготовлению и проектированию [2]. Заключительным этапом работ являлась разработка технологии изготовления деталей передачи и создание опытного образца насоса.

Л и т е р а т у р а

1. Игнатищев Р.М. Синусошариковые редукторы. – Мн.: Высш. шк., 1983. – 107 с.
2. Лустенков М.Е. Эллипсоидные шариковые передачи: преимущества и недостатки //Приводная техника. – 2003. – № 3(43). – С. 20-22.

УДК 638.3

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ МАНИПУЛЯТОРАМИ С ПНЕВМОПРИВОДАМИ

А.И. Бохонский, Н.И. Варминская

Севастопольский национальный технический университет, Украина

В [1] дано решение задач оптимизации рабочих операций транспортирования груза телескопическим манипулятором, преодолены трудности, возникающие при решении вариационным методом изопериметрических задач оптимального управления. Найденные управления реализуются пневмоприводами с дросселированием.

Решена изопериметрическая задача оптимального перемещения груза в горизонтальной плоскости с фиксированной точки на транспортер. При этом в итерационной процедуре с целью определения начальных приближений для множителей Лагранжа использовались аналитические функции для полярных координат. Возможность практической реализации таких управлений не рассматривалась.

С использованием вариационного метода Ритца решены характерные задачи, возникающие в процессе функционирования гибких технологических ячеек сборки (ГТЯС) с манипуляторами: оптимальное управление дросселированием пневмоприводов руки манипулятора при выполнении рабочей операции перемещения груза в горизонтальной плоскости с фиксированной точки на транспортер, лента которого

движется с постоянной скоростью; захват груза с транспортера манипулятором; управление перемещением груза манипулятором по траектории, заданной в виде отрезка прямой.

Численные эксперименты показывают, что в связи с невозможностью одновременного выполнения с достаточной точностью требований равенства модулей скорости груза и транспортера и совпадения векторов скоростей по направлению в конечный момент времени следует отдать предпочтение условию совпадения направлений векторов скоростей, а достижение равенства их модулей обеспечить, например, за счет дополнительного импульсного воздействия, приводящего скорость движущегося груза до значения скорости ленты транспортера.

Задачи решаются в три этапа: определение управлений, прикладываемых к перемещаемому грузу как материальной точке; расчет усилий в пневмоприводах, обеспечивающих оптимальное движение руки манипулятора; определение оптимальных законов изменения во времени площадей дроссельных отверстий пневмоприводов.

С использованием математического обеспечения ЭВМ удается получить приближенные решения задач оптимального управления движением схвата при выполнении транспортных операций, характерных для сборочных ГТЯС. Показано, что при известных оптимальных законах движения центра масс схвата находятся управления в приводах, реализующих оптимальные движения. Подход справедлив как для телескопических, так и для антропоморфных рук манипуляторов.

Литературы

1. Бохонский А.И. Расчет и проектирование телескопических исполнительных органов манипуляторов: Учеб. пособие /А.И. Бохонский, Г.Г. Макухина, Ю.А. Хащин. – К.: УМК ВО, 1989. – 132 с.

УДК 621.643.622

РАСШИРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ НЕФТЕПРОВОДОВ

А.М. Бордовский, С.М. Бодиловский, А.Б. Вериго, А.М. Козик

РУП «Гомельтранснефть «Дружба», Республика Беларусь

Существующая система технического обслуживания и ремонта обеспечивает в целом необходимый уровень надежности магистральных нефтепроводов и объективным отсутствием стимулов для строительства новых мощностей. Основной акцент сместился в область управления техническим состоянием транспортной сети при ограниченных финансовых ресурсах. Так как основой прогнозирования безопасности являются оперативный контроль за технологическим процессом и техническая диагностика, то существенная экономия ресурсов может быть достигнута при оптимизации этих операций.

Обычно работы по внутритрубной диагностике включают: подготовку трубопровода, очистку его, профилометрию, дефектоскопию, обработку данных, расчеты на прочность и оценку остаточного ресурса. Расширение работ по подготовке к дефектоскопии предлагается обеспечить за счет:

- предварительной диагностики положения задвижек и анализа ударных ускорений при движении очистного снаряда [1, 2];

- диагностики дефектных участков изоляции по измерению токов утечек с трубопровода и изменений потенциалов станций ЭХЗ;
- диагностики токов ЭХЗ по трубопроводу по измерениям магнитного поля;
- измерений потенциалов трубопровода при пропуске ОЧС.

Все эти работы выполняются по оригинальным методикам, внедряемым в РУП «Гомельтранснефть «Дружба» в сотрудничестве с УО ГГТУ им. П.О. Сухого. Выполнение вышеуказанных мероприятий не требует больших финансовых расходов, однако обеспечивает возможность предварительного обнаружения наиболее дефектных участков и устранит аварийно-опасные участки перед запуском профиломеров и диагностических устройств.

Например, модуль диагностики положения задвижек, монтируемый на ОЧС и используемый при подготовке трубопровода к профилометрии, позволяет своевременно исправить нарушения геометрии трубопровода и предупредить обрыв датчиков профиломера. Модули измерения утечек токов и потенциалов выполняют отдельную самостоятельную функцию диагностики и образуют информационное поле для корреляции с результатами стандартной дефектоскопии. Предлагаемое расширение информационных технологий позволяет повысить качество диагностики и, как следствие, надежность принимаемых решений при ремонте нефтепровода.

Л и т е р а т у р а

1. Виноградов Э.М., Орышко Р.Н., Бордовский А.М., Вериго А.Б. Модуль регистрации ускорений для диагностики магистральных нефтепроводов //Современные проблемы машиноведения: МНТК. – г. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2002. – С. 83-84.
2. Орышко Р.Н. Измерение неоднородности в нефтепроводах с помощью датчика ускорения //Сборник материалов III ММНТК студентов, аспирантов и магистрантов. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2003. – С. 230-233.

СЕКЦИЯ Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА 115/200 В ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 400 ГЦ С МАЛОГАБАРИТНОЙ АППАРАТУРОЙ

С.А. Калинин, А.А. Мухин

ОАО «ОКБ Сухого», Россия

Данная работа посвящена дальнейшей модернизации электrorаспределительных устройств переменного и постоянного тока, применяющихся на самолетах семейства СУ27, СУ30МК. Основным отличием нового устройства от ранее разработанных является применение в нем модульной конструкции, что позволяет без значительных технологических изменений изменять габариты конструкции, состав и тип аппаратуры. В работе на примере распределительного устройства РУ~115/208 В, серийно изготавливаемого для объекта СУ30И, показано переоборудование его под малогабаритную защитную аппаратуру.

Распределительное устройство (РУ) переменного трехфазного тока напряжением 115/208 В представляет из себя типовую модульную конструкцию, составленную из однотипных деталей (модулей), изменение числа и расположения которых легко позволяет изменять габариты устройства, и, следовательно, количество и расположение аппаратуры в нем. В передней части блока находится кронштейн крепления штепсельных разъемов, в который можно произвести установку 6 разъемов типа СНЦ23. Модули и кронштейн выполнены из пресс-материала АГ-4В, что уменьшает вес конструкции и обеспечивает дополнительную изоляцию между креплениями аппаратуры. Блок из модулей и кронштейна ШР собирается склеиванием и клепкой заклепками. За кронштейн ШР производится крепление силовых проводов путем обжатия их в колодках. Модуль, в который производится крепление контактной аппаратуры, а также подводка силовых проводов (контакторный модуль), предназначен для подвода энергии от силовых проводов через клеммовые колодки к распределительным шинам. В контакторном модуле обычно устанавливают три клеммовые колодки (по числу фаз переменного тока), шипы и стойки для подключения силовых проводов, контактная аппаратура, резисторы защиты реле, диоды выпрямителя. К контакторному модулю по необходимости пристыковываются до 3-х модулей с трехфазными или однофазными автоматами защиты. Подключение автоматов защиты к силовым проводам производится через клеммовые колодки. В один модуль, имеющий габариты 240×148×40 мм, возможна установка до 40 однофазных автоматов защиты типа АЗК1М или 12 трехфазных автоматов защиты АЗК3 (60 однофазных АЗА1 или 16 трехфазных АЗА3). Автоматы защиты подключаются через распределительные шины и обеспечивают защиту самолетных систем от перенапряжений в бортовой сети и коротких замыканий. Распределительные шины выполняются в виде медных полос или проводов большого сечения, обжатых в специальных наконечниках. Провода питания аппаратуры собираются в жгуты, подвешиваемые над

автоматами защиты с помощью специальных стоек крепления, и обеспечивают передачу энергии к штепсельным разъемам. Сверху и снизу устройство закрывается крышками, причем, верхняя выполняется из прозрачного материала для облегчения контроля за состоянием автоматов защиты; в нижней крышке имеются вентиляционные отверстия для охлаждения аппаратуры. Верхняя крышка крепится на типовых ручках крепления, что упрощает снятие крышки – это необходимо для обслуживания автоматов. На внешней стороне блока устанавливаются типовые кронштейны крепления, причем, расположение этих кронштейнов является типовым для всех подобных устройств, что упрощает установку их на борт и обеспечивает взаимозаменяемость.

Подобная конструкция имеет ряд преимуществ:

- 1) большая степень унификации деталей;
- 2) высокая устойчивость к линейным перегрузкам;
- 3) удобство сборки и эксплуатации устройства;
- 4) высокая технологичность деталей конструкции;
- 5) возможность внесения изменения в состав аппаратуры без значительных изменений в конструкции;
- 6) удобство эксплуатации и легкость замены устройств на объекте;
- 7) высокая степень пригодности для ремонта.

УДК 62-83:621.313

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ В ВЕКТОРНОМ АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ, ИНВАРИАНТНОМ К КОЛЕБАТЕЛЬНОМУ МОМЕНТУ НАГРУЗКИ

В.В. Логвин, А.И. Рожков

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

Развитие полупроводниковой преобразовательной техники, резкое увеличение мощности устройств силовой электроники вызывает заметное влияние этих устройств на показатели качества напряжений питающей сети. Поэтому одним из важнейших факторов, влияющих на экономичность использования электрической энергии, является сокращение потребляемой полупроводниковыми преобразователями и регулируемыми электроприводами на их основе реактивной мощности. Помимо этого, полупроводниковые преобразователи частоты создают еще весьма нежелательную мощность искажения, обусловленную несинусоидальной формой потребляемого тока.

Наиболее перспективной возможностью обеспечения энергосбережения и повышения экономичности использования электрической энергии, является повышение качества электропотребления за счет использования существующих простейших схемотехнических решений при построении силовых схем полупроводниковых преобразователей (с учетом современной силовой элементной базы – IGBT транзисторов). Для реализации в электроприводах режима рекуперативного торможения и улучшения электромагнитной и энергетической совместимости с питающей сетью выпрямители в их составе целесообразно выполнять активными (полностью управляемыми, работающими в релейных или импульсно-модуляционных режимах широтно-импульсных преобразователей).

Сказанное выше позволяет предположить целесообразность использования систем на основе активных преобразователей для механизмов с колебательной нагрузкой, в частности для осциллятора кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок на РУП «Белорусский металлургический завод». Как известно, для качественного образования слитка необходимо поддерживать постоянную скорость качания кристаллизатора, а для этого необходимо поддерживать постоянную скорость вращения вала двигателя. Проведенные исследования показали, что за один цикл колебаний момент нагрузки на двигателе изменяется от нуля до величины превышающей номинальное значение для используемого электродвигателя. При этом необходимо, чтобы частота колебаний кристаллизатора была постоянной с точностью до 2 %. Предлагаемый инвариантный по моменту электропривод, по проведенным расчетам, позволяет поддерживать скорость вращения вала двигателя, а, следовательно, и частоту колебаний кристаллизатора с отклонением до 0,2 % от заданной величины. При этом, для сети такой электропривод будет представлять почти активную нагрузку, т. к. коэффициент мощности находится в пределах $0,98 \div 0,99$, а форма потребляемого сетевого тока практически синусоидальна.

УДК 621.313.333

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА

Ю.А. Рудченко

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

Незатухающий автоколебательный режим возникает в консервативной паре «масса – упругость», если в процессе колебаний диссипативные силы компенсируются силами подпитки с нелинейной характеристикой.

Использование линейных двигателей, по сравнению с двигателями вращательного движения, в стендах по испытанию цилиндрических пружин является целесообразным, так как не требует дополнительного применения различных механических преобразователей возвратно-вращательного движения в возвратно-поступательное. Причем, при работе в автоколебательном режиме двигатель выступает только в качестве источника компенсирующей диссипативные силы нагрузки, которые являются причиной затухания свободных колебаний системы.

При создании автоколебательных испытательных стендов пружин, для получения устойчивых колебаний, в нем не надо специально создавать консервативную пару, поскольку она возникает естественным образом в виде «масса бегуна линейного асинхронного электродвигателя – упругость испытуемой пружины».

Вторичный элемент автоколебательного ЛАД может быть выполнен в «длинном» или «коротком» исполнении, т. е. когда его активная часть больше или меньше активной части первичного элемента. Причем в последнем случае катушки фаз ЛАД следует включать параллельно, так как в этом случае в активных (лежащих против вторичного элемента) и неактивных катушках будут протекать разные токи и неактивные катушки статора, обладающие повышенным индуктивным сопротивлением, выполняющие роль дросселя, не будут снижать тяговое усилие создаваемое его активной частью.

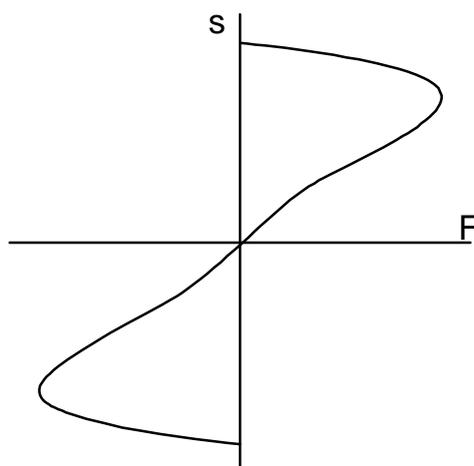


Рис. 1. Механическая характеристика ЛАД, работающего в автоколебательном режиме

Основной особенностью, которую надо учитывать при проектировании автоколебательного ЛАД является то, что устойчивое колебательное движение в системе невозможно, если двигатель не обладает Z-образной механической характеристикой с критическим скольжением меньшим 0,5. В процессе проектирования двигателя, для получения требуемой механической характеристики можно варьировать ряд его конструктивных параметров: добротность машины, величину воздушного зазора, относительное сопротивление вторичного элемента, материал, из которого выполняется бегун или его электропроводность и т. д. В данном докладе анализируется влияние параметров двигателя на координату критической точки.

УДК 62-831

ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ ЗАЩИТЫ ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТИПА SSD ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ЦЕПИ ПИТАНИЯ

Г.О. Широков

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

Целью исследований является определение пути повышения устойчивости тиристорного электропривода при внешних кратковременных провалах напряжения.

Проведенные исследования устойчивости тиристорного электропривода типа SSD к внешним провалам напряжения показали, что его защита срабатывает и отключает привод через время порядка 20 мс от момента начала развития провала напряжения. Это иллюстрируется одной из осциллограмм, полученных с помощью цифрового регистратора, представленной на рис. 1.

Исследования также показали, что при отсутствии критических параметров провалов напряжения происходит затормаживание электродвигателя, управляемого приводом, с последующим его самозапуском после исчезновения провала напряжения.

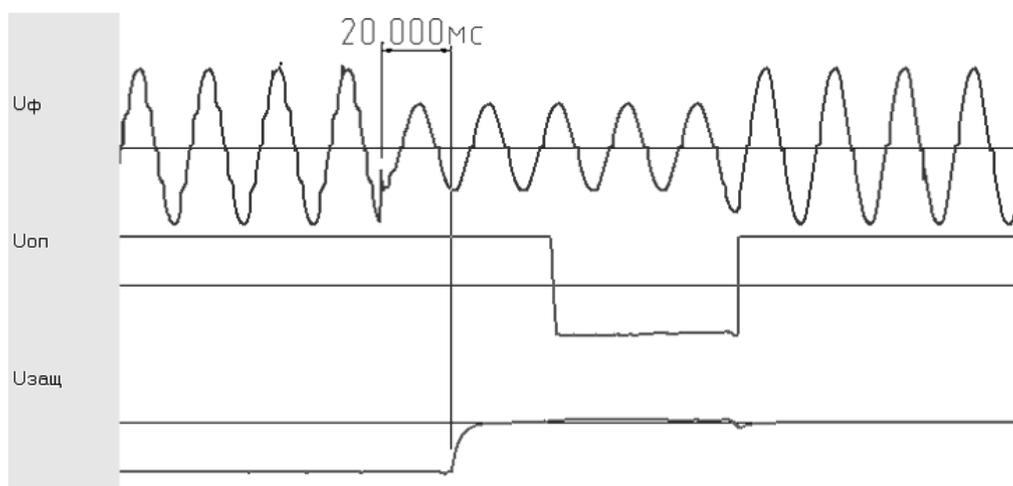


Рис. 1. Осциллограмма провала напряжения по цепи питания (U_{ϕ}), опорного напряжения ($U_{оп}$) и напряжения узла защит ($U_{зщ}$) тиристорного электропривода типа SSD

Согласно [1], длительность большинства внешних провалов напряжения составляет порядка 200 мс глубиной до 60 %, после чего возможно возобновление нормальной работы привода.

Поэтому для повышения устойчивости тиристорного электропривода типа SSD при критических провалах напряжения по цепи питания необходимо введение в узел защиты привода логического блока, который позволял бы за время, не превышающее 20 мс, отличать внешний провал напряжения от внутреннего короткого замыкания и не допускать отключение привода при внешнем кратковременном провале напряжения. Логический блок должен также контролировать провалы напряжения по всем питающим фазам и различать прямой и инверторный режимы работы электропривода.

Литература

1. Прокопчик В.В., Широков О.Г. Проблемы электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом //Электрификация металлургических предприятий Сибири: Материалы науч.-техн. и метод. конф., Новокузнецк, 19-21 ноября 1997 г. /Вып. 7. – Томск.: Изд-во Томского ун-та, 1997. – С. 56-71.

УДК 62-83:681.5

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ НАТЯЖЕНИЯ ПРИВОДА НАМОТКИ СТАНА ТОНКОГО ВОЛОЧЕНИЯ

В.И. Луковников, С.И. Захаренко, Д.А. Хабибуллин,
В.С. Захаренко, В.А. Савельев

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

В процессе разработки опытного образца системы стабилизации натяжения проволоки РМЛ при намотке на волочильных станках СтПЦ-2 с ПМК РУП «Белорусский металлургический завод» принципиальным явилось требование сделать систему стабилизации натяжения повышенной точности, но без радикальной пере-

стройки существующей системы. Это потребовало осуществить несколько вариантов разработок и выбрать из них наилучший в соответствии с поставленной задачей.

По принципу построения исходная система управления намоткой являлась комбинированной, поскольку в ней использовалось регулирование по отклонению линейной скорости наматываемой проволоки и регулирование по возмущению от колебаний натяжения проволоки, с подчиненным регулированием тока.

Были разработаны два варианта системы стабилизации. В первом, дополнительно к контуру регулирования скорости добавлен контур регулирования натяжения с ПИ-регулятором. Во втором, исключен контур регулирования скорости, а в контур регулирования натяжения с И-регулятором включено нелинейное звено для компенсации нелинейности характеристики датчика натяжения.

Экспериментальное исследование разработанных систем было проведено в заводских условиях на стане № 300 СтПЦ-2 с ПМК и показало, что качество регулирования натяжения этих систем хуже, чем у исходной. Выяснилось, что идея введения контура стабилизации натяжения верна, но необходим более качественный датчик натяжения и, кроме того, не следует исключать из системы контур регулирования скорости.

Были рассмотрены варианты использования рычажно-потенциометрического и фотоэлектрического датчика натяжения. Исследования показали, что использование нелинейного блока компенсации несимметрии нелинейности статической характеристики рычажно-потенциометрического датчика существенно приближает его по точности к характеристикам фотоэлектрического датчика. А в таком случае существующая система стабилизации натяжения требует минимум переделок.

В результате, для внедрения была выбрана схема, в которой учтены все предыдущие разработки и результаты исследований. В этой схеме используется только принцип регулирования по отклонению. Контур регулирования тока якоря подчинен контуру регулирования линейной скорости наматываемой проволоки, как это и сделано в исходной схеме. Вместо канала компенсации введен контур стабилизации натяжения, который работает на задание тока якоря параллельно с контуром стабилизации скорости. Контур стабилизации натяжения состоит из П-регулятора и нелинейного блока компенсации нелинейности рычажно-потенциометрического датчика. Задание на натяжение задается потенциометром согласно с нейтральным положением компенсационного рычага при заданном положении груза. Этот контур реализован в виде платы, дополнительно к существующей системе.

В результате испытания предлагаемой системы управления, величина относительного отклонения натяжения проволоки от среднего значения составила 6,7 %, что значительно меньше величины относительного отклонения натяжения при использовании стандартной системы управления натяжением намотки проволоки, которая составляла 16 %.

УДК 621.316.9

СИНТЕЗ ФИЛЬТРА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО МИНИМАЛЬНЫЙ ПЕРЕХОДНОЙ ПРОЦЕСС В УСТРОЙСТВЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

В.И. Луковников, С.Н. Кухаренко

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

Синтез защитного фильтра, устанавливаемого между ограничителем напряжения и полупроводниковым преобразователем, осуществленный в работе [1], не позволяет получить монотонный переходной процесс нарастания входного напряжения преобразователя, что очень важно для осуществления его защиты от перенапряжений.

В данной работе предлагается новая методика синтеза фильтра, свободная от этого недостатка.

В методике используются необходимые и достаточные условия обеспечения монотонности, полученные Блохом З.Ш. [2], для переходных процессов в системах автоматического регулирования.

Условия монотонности обеспечиваются только при определенных величинах и знаках установившегося значения, начальных условий изменения входного напряжения преобразователя и его производных.

Наличие в схеме фильтра [1] магнитной связи приводит к тому, что его структура в моменты коммутации, переходного процесса и установившегося рабочего режима различна.

Анализ схемы фильтра с учетом этой особенности показал, что реализация монотонности переходного процесса возможна.

Найдены аналитические соотношения взаимосвязи параметров фильтра с коэффициентом его нормированного характеристического уравнения, через которые выполняется условие автономности, если распределение корней уравнения осуществлено в соответствии с полученными рекомендациями.

Численно-экспериментальная проверка методик подтвердила её достоверность, что позволило реализовать и внедрить защитное устройство от перенапряжений с существующим фильтром в разработку электрооборудования современных троллейбусов Республики Беларусь.

Л и т е р а т у р а

1. Луковников В.И., Кухаренко С.Н., Шереметьев Д.В. Синтез устройств защиты от перенапряжений полупроводниковых преобразователей троллейбусного электрооборудования //Материалы МНТК 5-9 апреля 2004 г. – СПб.: Изд-во ПЭИПК, 2004. – С. 162-168.
2. Блох З.Ш. Динамика линейных систем автоматического регулирования машин. – М.: Гостехиздат, 1952. – 491 с.

УДК 621.313.333

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТА
В ДВИГАТЕЛЯХ С ТОРМОЗНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ****В.В. Соленков, В.В. Брель***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Возрастающая потребность в электродвигателях с надежнoдействующими электромеханическими тормозными устройствами объясняется тем, что, по сравнению с электрическими, механические способы торможения позволяют значительно увеличить число торможений в час, обеспечить постоянство тормозного момента, улучшить тепловой режим двигателя, упростить схему управления, сократить число пусковой аппаратуры и т. п. [1]. В связи с этим повышаются требования к основным узлам встраиваемых тормозных устройств, в частности, к растормаживающим электромагнитам.

Электромагнит цилиндрического типа с дисковым якорем наиболее полно сочетается с основными узлами асинхронного двигателя общепромышленного исполнения. При проектировании электромагнита были введены допущения, что потоки рассеяния и выпучивания отсутствуют, а распределение индукции в воздушном зазоре равномерно. Погрешность от введения таких допущений будет невелика, так как растормаживающие электромагниты обычно выполняются короткоходовыми ($\delta = 0,3 - 1,2$ мм), что значительно уменьшает влияние потоков рассеяния, выпучивания и неравномерности поля в воздушном зазоре на результаты расчета [1]. Геометрические размеры и параметры электромагнита должны удовлетворять требованию минимальной высоты электромагнита. Выбор этого требования, в качестве основного критерия оптимальности, объясняется стремлением максимально приблизить осевую длину тормозного электродвигателя к соответствующей длине базового АД.

В предыдущих работах [2] значения внешнего D_n и внутреннего диаметра d_g электромагнита задавали исходя из радиальных размеров базового двигателя и конструктивных особенностей тормозного устройства. Тем самым была не учтена зависимость между значением d_g и высотой электромагнита h_3 , из которой следует, что с увеличением d_g уменьшается h_3 и существенно уменьшается объем активных материалов (меди и стали) электромагнита. Данная закономерность выводится из принятого условия, что площади полюсов одинаковы и равны площади среднего сечения магнитопровода на участке между ними. Увеличивая d_g – увеличивается площадь среднего сечения магнитопровода на участке между полюсами, тем самым увеличивается рабочий поток в сердечнике на пути его следования, при этом незначительно уменьшается площадь полюсов, все это в сумме приводит к тому, что уменьшается h_3 , и существенно уменьшается объем активных материалов электромагнита.

На кафедре «Теоретические основы электротехники» УО «ГГТУ им. П.О. Сухого» были экспериментально подтверждены полученные результаты.

Л и т е р а т у р а

1. Гусельников Э.М. Перспективы развития асинхронных двигателей со встроенным тормозным устройством //Электротехника. – 1986. – № 10. – С. 20-23.
2. Соленков В.В., Гринберг В.С., Гусельников Э.М. Расчет электромагнита с форсировкой для электродвигателей со встроенным тормозом //В кн.: Электрооборудование автоматизированных установок. – Томск, 1980. – С. 59-63.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ В ДАТЧИКЕ ПОТЕРИ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

В.В. Курганов, Ю.В. Крышнев, А.Г. Баранов

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

В настоящее время большое внимание уделяется разработке быстродействующего автоматического включения резервного питания (БАВР) высоковольтных синхронных двигателей (СД) как наиболее эффективного способа обеспечения устойчивости узла промышленной нагрузки. Одно из направлений в этих исследованиях – задача оперативного обнаружения потери питания (ПП) СД. Известные способы обнаружения ПП не обеспечивают одновременного выполнения требований по помехоустойчивости и быстродействию. Инерционность устройства, определяющего направление активной мощности в питающей линии и измеряющего значение напряжения на секции шин 6 кВ, не должна превышать 40...60 мс. За указанное время необходимо выполнить фильтрацию входных сигналов датчика потери питания (ДПП) и определить информационные параметры – текущие значения амплитуды и фазы основной гармоники (50 Гц). Представляет интерес решение данной задачи с помощью цифровой обработки входных сигналов. При этом выделение из сложного сигнала информационных параметров производится путем дискретного преобразования Фурье (ДПФ), принимая период наблюдения равным одному периоду сетевого напряжения:

$$X(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{i \frac{2\pi n k}{N}}. \quad (1)$$

Помехами являются аperiodическая составляющая и высшие гармоники напряжения $U_{сш}$ на секции шин с СД (либо тока через вводной выключатель $I_{вв}$). Так как ДПФ, по существу, представляет собой цифровой полосовой фильтр, то одновременно с определением информационных параметров осуществляется и фильтрация входных сигналов. Достоинствами предлагаемого способа обработки можно считать малую инерционность, избирательность фильтра и стабильность параметров системы.

В программе Mathcad был проведен анализ погрешности определения амплитуды и фазы входных сигналов. При моделировании сигнал $U_{сш}$ содержал аperiodическую составляющую (10 % от амплитуды 1-й гармоники) и высокочастотные составляющие (были заданы предельно допустимые по ГОСТ 13109-97 значения); сигнал $I_{вв}$ содержал аperiodическую составляющую, равную 100 % от амплитуды 1-й гармоники и высокочастотные составляющие. Анализ показал, что максимальная погрешность определения разности фаз между $I_{вв}$ и $U_{сш}$ составляет 17° , а максимальная погрешность в определении амплитуды $U_{сш}$ – 0,12 отн. ед. Основную погрешность в результат измерений вносит аperiodическая составляющая; значительно меньшую погрешность вносит изменение частоты сигнала. При уменьшении частоты основной гармоники высшие гармоники вносят дополнительную погрешность, что объясняется наличием у цифрового фильтра (т. е. у ДПФ) боковых лепестков, минимумы которых при изменении частоты не совпадают с частотами высших гармоник сигнала.

По результатам анализа сделан вывод, что использование в ДПП цифрового фильтра, работающего по алгоритму ДПФ, может подойти только для реализации реле направления мощности и порогового органа по углу между векторами напряжений (при этом необходимо использовать АЦП с числом разрядов не менее 8, работающий с частотой дискретизации более 200 Гц). Для реализации блока вычисления углового ускорения необходимо повышать избирательность фильтра на основе ДПФ, что достигается увеличением периода наблюдения либо использованием весовых функций.

УДК 621.395.44

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛЭП

О.В. Гуреева, Д.В. Соболев

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

В электроэнергетике широко используются различные способы защиты оборудования и сооружений при аварийных ситуациях. Широкий спектр оборудования предназначен для снижения отрицательных последствий при таких ситуациях, как короткое замыкание, перенапряжение или обрыв линий. В настоящей работе рассмотрена возможность построения качественной информационно-управляющей системы на основе анализа электромагнитного поля в пространстве рядом с ЛЭП.

В общем случае магнитное поле H в некоторой точке (x_0, y_0) рядом с ЛЭП зависит от геометрии линии и токов по фазным проводам. Поле переменное во времени с промышленной частотой f :

$$H(x_0, y_0) = F(\bar{I} >, S >, f), \quad (1)$$

здесь $\bar{I} >$ – вектор комплексных токов фаз ЛЭП;

$S >$ – вектор геометрических параметров.

Соотношение (1) является линейным по переменным $I >$ и содержит три неизвестных тока при выбранной геометрии $S >$. Для решения (1) относительно токов требуется знать значения магнитного поля в трех точках пространства. Эти измерения могут быть легко выполнены простейшими индукционными рамками. Численный анализ ситуации для геометрии ЛЭП-110 при установке индукционных датчиков поля под проводами линии на высоте $y_0 = 2$ м показал, что уверенно будут регистрироваться значения всех трех токов с погрешностью не более 10 %. Таким образом, любые аварийные ситуации могут быть безошибочно зарегистрированы. В качестве примера на рисунке 1 показана зависимость от поперечной координаты x магнитного поля под ЛЭП при $y_0 = 2$ м для случаев:

- а) одинаковых фазных токов;
- б) ток первой фазы в 10 раз больше токов двух других фаз;
- в) ток первой фазы равен нулю.

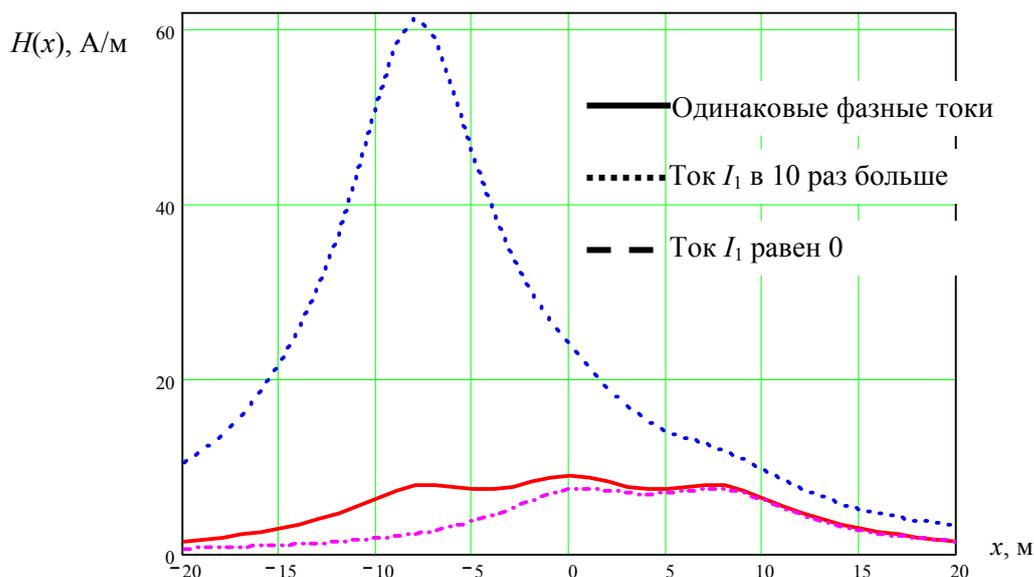


Рис. 1. Магнитное поле вблизи ЛЭП

В докладе рассмотрены другие информационные показатели, которые могут быть получены при измерении магнитных полей ЛЭП.

УДК 550.34.037

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМОПРИЕМНИКОВ

В.В. Щуплов, А.И. Никеенков

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

При проведении геолого-разведочных работ широко используется метод зондирования залегающих пород с помощью искусственно созданных сейсмоволн и анализа отраженного сигнала, принятого группой сейсмоприемников. Качество анализа принятого сигнала во многом определяется идентичностью характеристик сейсмоприемников, включенных в приемную систему, которая определяет пространственную и временную характеристики принятого сейсмосигнала.

Сейсмоприемники обладают идентичными характеристиками, если они удовлетворяют требованиям технических условий по значениям таких параметров как резонансная частота ω_0 , амплитуда первого колебания A и степень затухания b . В соответствии с ГОСТ 28134-89 лимитируются отклонения по частоте $\pm 5\%$, по степени затухания $\pm 0,1$, по амплитуде $\pm 5\%$ для сейсмоприемников 1 класса и $\pm 10\%$ для 2 класса.

Электродинамические сейсмоприемники обладают свойством взаимности, то есть подвижную катушку можно отклонить подавая на нее электрический ток. После снятия воздействия тока за счет пружин на зажимах сейсмоприемника генерируется

затухающий импульс напряжения $U_{cn}(t)$, определяемый основными параметрами сейсмоприемника [1]:

$$U_{cn}(t) = A \cdot \exp(-b \cdot \omega_0 \cdot t) \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \varphi_0), \quad (1)$$

где $\omega_1 = \omega_0 \cdot \sqrt{1-b}$, $\varphi_0 = -\arctg(\omega_1 / (\omega_0 \cdot b))$.

Для подбора сейсмоприемников в группу в рассматриваемом устройстве используется эталонный сигнал $U_0(t)$, который специально генерируется в устройстве:

$$U_0(t) = \exp(b \cdot \omega_0 \cdot t) \cdot \cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_0). \quad (2)$$

Если сейсмоприемник имеет отклонение по параметрам, то выражение для сигнала на выходе сейсмоприемника можно переписать в виде:

$$U_{cn}(t) = A [1 - \Delta A / A] \cdot \exp[-(b \pm \Delta b) \cdot (\omega_0 \pm \Delta \omega_0) \cdot t] \cdot \sin[(\omega_1 \pm \Delta \omega_1) \cdot t + \varphi_0], \quad (3)$$

где $\Delta \omega = (\omega_0 \pm \Delta \omega_0) \cdot \sqrt{[1 - (b \pm \Delta b)]} - \omega_1$.

В результате перемножения двух сигналов (2) и (3) и фильтрации частоты $2 \cdot \omega_1$ на выходе перемножителя мы имеем сигнал:

$$U(t) = A \cdot [1 - \Delta A / A] \cdot \exp[\pm \Delta b \cdot \omega_0 \pm b \cdot \Delta \omega_0 \pm \Delta b \cdot \Delta \omega_0] \cdot t] \cdot \sin(\pm \Delta \omega \cdot t), \quad (4)$$

где ΔX – модуль отклонения параметра X .

Как видно из выражения (4), сигнал $U(t)$ полностью определяется только отклонением параметров сейсмоприемника от эталонных значений. Этот сигнал можно сравнивать с заданным порогом для отбраковки сейсмоприемников.

Рассматриваемый принцип оперативного контроля может быть использован для подбора сейсмоприемников в группу по идентичности основных параметров.

Литература

1. Слущковский А.И. Сейсморазведочная аппаратура. – М.: Недра, 1970. – 344 с.

УДК 621.643.622

ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ СТЕНКИ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ТРУБОПРОВОДА

Р.Н. Орышко

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

Для расчета потери давления на преодоление сил трения в прямых трубопроводах необходимо знать относительную шероховатость стенки трубопровода [1]. Данная величина рассчитывается как отношение средней высоты шероховатостей стенки e к эквивалентному диаметру $d_э$:

$$\varepsilon = \frac{e}{d_э}.$$

Величина e приводится в справочных таблицах и для нефтепроводов, например, составляет 0,2 мм. При расчете величины принимается, что трубопровод выполнен в полном соответствии технологии и не имеет коррозии. На практике это не

всегда так. Потому существует необходимость в измерении средней шероховатости стенки трубопровода.

Одним из возможных способов измерения может быть регистрация ускорений, испытываемых очистным снарядом при столкновении с внутренними препятствиями. По величине ускорения, используя модельные математические соотношения, можно вычислить высоту среднего препятствия и, тем самым, найти среднюю высоту шероховатости стенки трубопровода.

Такой эксперимент был проведен на РУП «Гомельтранснефть «Дружба» на трассе Пинск-Кобрин. На стандартный очистной снаряд был установлен модуль измерения ускорений, который содержал датчик ускорения, микроконтроллер и запоминающее устройство на флэш-матрице. По полученным после пропуски снаряда данным была построена гистограмма количества максимальных значений зарегистрированных ударов от их величины (см. рис. 1). Порог записи удара в запоминающее устройство был установлен на уровне 1 g, поэтому на гистограмме отсутствуют меньшие значения.

На рисунке 1 показана функция хи-квадрат плотности распределения, которая достаточно хорошо коррелирует с экспериментальными данными. Некоторое расхождение наблюдается в области больших ускорений, что вызвано наличием в трубопроводе технологических устройств типа задвижек. Из рисунка 1 видно, что наибольший вклад имеют удары со значениями 1,7 g. Таким образом, именно это значение необходимо брать для расчета величины средней шероховатости стенки трубопровода.

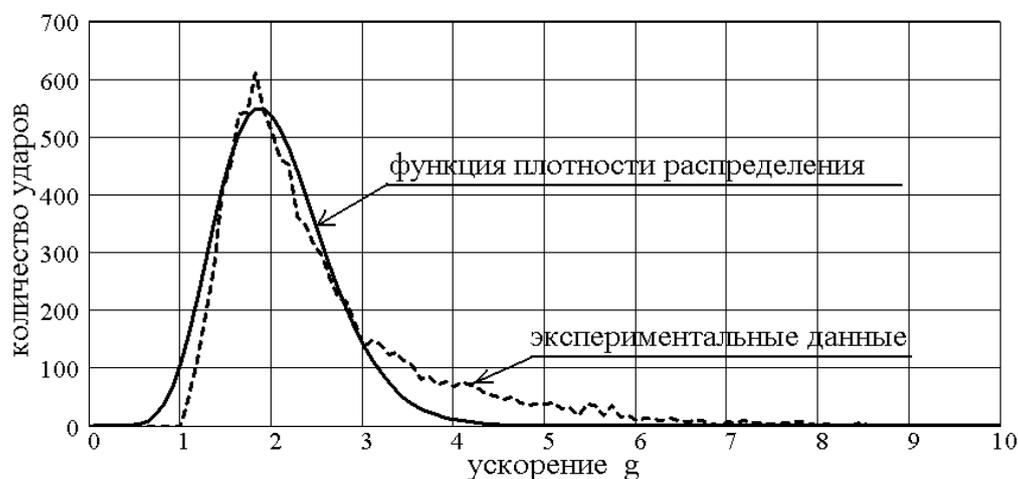


Рис. 1. Гистограмма количества ударов от их величины

Литература

1. Романков П.Г. и др. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): Учеб. пособие для вузов /П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк, М.Н. Курочкина. – СПб.: Химия, 1993. – 496 с., ил.

УДК 681.58

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ВНУТРИТРУБНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СНАРЯДОВ

Э.М. Виноградов, Д.Б. Котин, Р.Н. Орышко

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

Для продления службы нефтепроводов и предотвращения аварий, наносящих большой материальный и экологический урон, необходимо следить за состоянием трубопровода. Для этих целей используются внутритрубные диагностические снаряды, представляющие собой устройства, движимые потоком нефти и измеряющие различные параметры трубопровода. Существует множество различных снарядов, проводящих самую разную диагностику, от измерения толщины стенки трубы до обнаружения утечек и величины препятствий. В основном это сложные и дорогие устройства, вследствие чего их используют довольно редко. В настоящее время получают распространение недорогие диагностические модули монтируемые на стандартные очистные снаряды. Они измеряют только один параметр, но зато их можно применять гораздо чаще.

Определим требования к подобным устройствам. Во-первых, они должны быть достаточно малы, чтобы легко устанавливаться на очистной снаряд. Электронная часть должна быть устойчива к вибрациям и ударам, так как монтируется модуль на очистной снаряд, в конструкции которого не предусмотрены меры по снижению этих параметров. Модуль должен обладать энергосберегающими режимами из-за длительных простоев, возникающих при пуске и извлечении снаряда. Необходимо, чтобы бортовой компьютер сам определял, когда переходить в режим энергосбережения, вследствие возможных простоев снаряда при пропуске. Длительное время диагностики приводит к необходимости применения больших объемов энергонезависимой памяти. Модуль должен иметь достаточно входов для подключения датчиков. Также важны простота обслуживания в эксплуатации устройства.

На кафедре «Промышленная электроника» Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» разработано универсальное устройство сбора данных (УСД), предназначенное для применения в бортовых системах диагностических модулей. Устройство построено на основе микроконтроллера MSP430, отличительной особенностью которого являются очень низкое потребление, несколько «спящих» режимов, высокое быстродействие и развитая периферия. УСД ориентировано на питание от различных химических источников питания в диапазоне напряжений от 5 до 30 В, и имеет средства защиты аккумуляторов от переразряда. В устройстве применяются электронные компоненты с малым потреблением, что снижает потребление устройства до нескольких десятков миллиампер.

В качестве запоминающего устройства в УСД применяется флэш-карта памяти SmartMedia. Применение такой карты позволяет иметь достаточно большой объем памяти при высочайшей надежности и устойчивости к вибрациям и ударам. Возможность замены флэш-карты позволяет гибко выбирать необходимый объем памяти и легко переносить собранную информацию на компьютер.

УСД имеет 16 входов аналого-цифрового преобразователя, позволяющих подключать до 16 датчиков. Также имеются два счетных входа для подключения одо-

метров. Для определения положения модуля, относительно земной поверхности, в устройство встроен датчик угла поворота на акселерометре фирмы Analog Devices.

Программное обеспечение микроконтроллера позволяет гибко настраивать устройство для работы с различными датчиками, реализованы алгоритмы сжатия информации и перехода в «спящий» режим при простоях.

УДК 550.34.037

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОСТИ СЕЙСМОКАНАЛА

А.И. Никеевков, В.В. Щуплов

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

Промысловая геофизика требует оперативной проверки исправности сейсмоканала после укладки сейсмокабеля и подключения сейсмоприемников по исследуемому профилю участка земли до приезда сейсмостанции.

Сопrotивление контролируемого сейсмоканала может достигать 3–5 кОм. Из них сопротивление подключенных сейсмоприемников составляет 1,2–1,3 кОм, а сопротивление сейсмокабеля до 3,5 кОм. Амплитуда сигнала сейсмоприемников составляет несколько вольт.

Рассматриваемое устройство контроля исправности сейсмоканала относится к устройствам сейсмической разведки и может быть использовано также для подбора сейсмоприемников в группу.

Как известно [1], электродинамические сейсмоприемники обладают симметрией, то есть подвижную катушку можно отклонить, подавая на нее электрический ток, а после снятия воздействия тока получить за счет пружин затухающий импульс напряжения на зажимах сейсмоприемника.

Контроль исправности сейсмоканала заключается в определении причины неисправности сейсмоканала: неисправность самого сейсмоприемника, обрыв, утечка, короткое замыкание линии связи сейсмокабеля. Для этого в контролируемый сейсмоканал подаются импульсы тока прямоугольной формы частотой 1 Гц, амплитудой 0,5 мА и осуществляется анализ напряжения первого затухающего колебания и постоянной составляющей на зажимах сейсмоприемника.

Выделение первой амплитуды и постоянной составляющей осуществляется амплитудным детектором и устройством выборки – хранения (УВХ). Для уменьшения пульсаций используется второе устройство выборки – хранения. Обрыв, утечка и короткое замыкание определяются путем сравнения постоянной составляющей с заданным пороговым значением напряжения. Функционально схема устройства состоит из генератора напряжения прямоугольной формы частотой 1 Гц, преобразователя напряжения – ток на операционном усилителе, амплитудного детектора (АД) и схемы сброса его, первого УВХ, сумматора сигналов с выхода АД и УВХ, второго УВХ для сигнала с выхода сумматора, двух линий задержки в цепях управления работой УВХ, аналого-цифрового преобразователя и цифрового индикатора, узла компараторов для контроля короткого замыкания, утечки или обрыва.

Устройство контроля исправности сейсмоканала позволяет осуществлять контроль сейсмоканала с длиной кабеля до 10 км и подключением до 24 сейсмоприемников с резонансной частотой 5 Гц, 10 Гц, 20 Гц, 100 Гц.

Разработанное устройство позволяет повысить производительность подготовительных работ, связанных с укладкой кабеля и сейсмоприемников по профилю, а также более рационально использовать работу сейсмостанции.

Литература

1. Слуцковский А.И. Сейсморазведочная аппаратура. – М.: Недра, 1970. – 344 с.

УДК 621.791.03

УСТРОЙСТВО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ

А.Н. Вершинин, С.А. Грачев

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

Электродуговая сварка штучными электродами на переменном и постоянном токе получила широкое распространение на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства, в строительстве и различных отраслях промышленного производства, а также на предприятиях агропромышленного и нефтегазоперерабатывающего комплексов.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.8-75 «Устройства электросварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности» при производстве сварочных работ в особо опасных условиях и условиях повышенной опасности необходимо применять устройства ограничения напряжения холостого хода сварочных трансформаторов.

Разработанное авторами устройство ограничения напряжения холостого хода сварочного аппарата (УОНХХСА) позволяет обеспечить не только безопасность ведения сварочных работ в соответствии с ГОСТ 12.2.007.8-75, но и существенную экономию электроэнергии.

Принцип действия устройства основан на том, что в первичную обмотку сварочного трансформатора включается силовой тиристорный ключ, управляемый сварщиком при зажигании и размыкании сварочной дуги. Ток, потребляемый сварочным трансформатором в режиме холостого хода в случае использования разработанного устройства, удалось снизить более чем в сто раз. Это дает существенную экономию электроэнергии как за счет уменьшения потерь в первичной обмотке трансформатора, так и в подводящих проводах.

Устройство применяется в комплекте со сварочными трансформаторами мощностью до 32 кВт и имеет следующие габариты: 500x280x100 мм, вес – 9,5 кг. Основные технические данные сварочного трансформатора, оборудованного устройством УОНХХСА:

- напряжение холостого хода – не более 12 В;
- время снижения напряжения холостого хода – не более 1 с;
- потребляемый ток в режиме холостого хода – не более 0,1 А.

Несомненным достоинством устройства, кроме того, является надежность его срабатывания (открывания тиристоры) при касании сварщика электродом свариваемых деталей. Это достигается за счет применения в конструкции устройства современных электронных компонентов.

Устройство достаточно просто крепится на боковой стенке сварочного трансформатора.

Кроме устройства ограничения напряжения холостого хода сварочного трансформатора разработано и изготовлено устройство ограничения холостого хода сварочного выпрямителя УОНХХСА-В, которое принципиально не отличается от УОНХХСА, но выполнено на силовых симисторах.

Оба устройства прошли длительные производственные испытания на предприятиях Гомельской области (Беларусь) и получили высокую оценку специалистов.

Годовая экономия электроэнергии на один сварочный трансформатор типа ТДМ-503 составляет около 13,5 тыс. кВт·час. С учетом большой численности сварочных аппаратов и выпрямителей, применение разработанных ограничителей напряжения холостого хода позволит значительно уменьшить потери энергии при производстве сварочных работ.

УДК 621.136

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ВЛ 10 КВ

А.А. Парфенов

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

Одним из средств восстановления электроснабжения потребителей является включение резервного питания от другой линии электропередачи, имеющей резервную перемычку с данной линией. Для этого необходимо провести ряд оперативных переключений (включение-отключение выключателей, разъединителей и т. д.). Характерной особенностью является многовариантность, когда поставленной цели можно достичь с помощью различного состава оперативных переключений, также их неочевидность, вследствие того, что достаточно трудно определить сразу всю необходимую совокупность оперативных переключений, ведущих к достижению поставленной цели. Это обстоятельство усугубляется очень жесткими временными ограничениями на процесс принятия решения во время аварийной ситуации и психологической нагрузкой, которые ложатся на диспетчера, ответственного за принимаемое решение. Поэтому для повышения надежности, качества и экономичности электроснабжения потребителей необходимо внедрять в управление электрическими сетями автоматизированные системы.

Существующие различные методы и алгоритмы решения данной задачи для электроэнергетических систем 110 кВ и выше, непосредственно использовать для распределительных сетей невозможно, вследствие существенных различий в принципах построения и функционирования распределительных сетей по сравнению с системообразующими сетями более высоких напряжений. В связи с этим возникает задача разработки специализированных алгоритмов, ориентированных на применение в распределительных сетях, которая формулируется следующим образом. В послеаварийном режиме, возникающем в результате повреждения элемента сети и последующего отключения автоматического коммутационного аппарата на головном участке фидера, ряд потребителей остается без питания. Требуется после локализации и отключения поврежденного элемента найти такое новое состояние сети, чтобы все потребители фидера получали питание и выполнялись все условия, обеспечивающие нормальную работу линии электропередачи. Для этих целей и служит предлагаемый алгоритм и программный комплекс резервирования воздушных линий 10 кВ сельскохозяйственного назначения.

При аварийном отключении фидера диспетчеру предлагается список фидеров, имеющих резервные переключатели с отключенным фидером. Диспетчер производит необходимые изменения в положениях коммутационных аппаратов выбранного для резервирования и поврежденного фидеров (включение резервной переключателя, отключение части поврежденного фидера и т. д.). Далее выполняется расчет установившегося режима для нормальной схемы поврежденного фидера и соседнего фидера, соединенного с поврежденным с помощью резервной переключателя. Результаты расчетов представляются в виде двух таблиц (по ветвям и узлам) и рекомендаций по возможности или невозможности резервирования фидеров. Если резервирование невозможно, то диспетчер может выбрать для расчета резервирования другой фидер из предложенного списка. Если в результате расчетов окажется, что резервирование возможно с несколькими фидерами, имеющими резервную переключатель, то диспетчер может выбрать наиболее экономичный вариант с наименьшими потерями мощности в линиях. При необходимости результаты расчетов можно вывести на печать.

УДК 621.375

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР С УМЕНЬШЕННЫМ ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НЕСОВЕРШЕНСТВА ДАТЧИКА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

В.А. Карпов, А.В. Ковалев

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

Термохимический датчик (ТХД) в силу невысокой себестоимости, хорошо отлаженной технологии производства, неприхотливостью к изменению рабочих условий применения хорошо зарекомендовал себя в качестве измерительного элемента в различных газоаналитических системах контроля безопасности и управления технологическими процессами [1]. Конструктивно ТХД выполнен в виде двух терморезисторов прямого подогрева, на один из которых нанесен слой катализатора, называется измерительным ИЭ, а второй – компенсационным КЭ. При существующем уровне технологии производства ТХД полной идентичности электрических и теплофизических параметров ИЭ и КЭ достичь невозможно.

С учетом неидентичности начального сопротивления δ_R и терморезистивного коэффициента δ_b полное сопротивление ИЭ и КЭ ТХД можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} R_{И} = R_0 \cdot (1 + \delta_R) \cdot (1 + \beta \cdot b \cdot (1 + \delta_R - \delta_b) \cdot I^2 + \beta \cdot t_0 + \beta \cdot t_X) \\ R_{К} = R_0 (1 + \beta \cdot b \cdot I^2 + \beta \cdot t_0), \end{cases}$$

где $R_{И(К)}$ – полное сопротивление ИЭ (КЭ); R_0 – сопротивление КЭ при 0°C ; b – терморезистивный коэффициент КЭ, $^\circ\text{C}/\text{A}^2$; β – температурный коэффициент платины; t_0 – температура измеряемой среды; I – ток, протекающий по элементам ТХД; t_X – превышение температуры поверхности ИЭ, обусловленное измеряемым компонентом.

В докладе дано обоснование математической модели ТХД, представлен вывод выходного сигнала измерительного преобразователя с использованием чередования

температурных режимов ИЭ и КЭ и последующим осреднением результатов преобразования, который имеет следующий вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = R_0 \left(\delta_R - \beta \cdot \delta_b \cdot t_{II} + \frac{2\delta_R - \delta_b}{2} \beta \cdot t_K + \frac{2 + \delta_b}{2} \beta \cdot t_X \right).$$

Очевидно, что полезный сигнал измерительного преобразователя не зависит от изменения температуры контролируемой среды. Представлена техническая реализация данного способа и результаты экспериментальных исследований.

Описанный термохимический газоанализатор, по сравнению с известным [2], позволяет существенно (в 5–7 раз) снизить влияние изменения температуры измеряемой среды на погрешность измерения, или при той же погрешности снизить требования к идентичности параметров элементов ТХД.

Литература

1. Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
2. Пат. G01N 27/16. Термохимический газоанализатор /В.А. Карпов, А.В. Ковалев, С.Н. Мальченко. – № 676 РБ; Заявл. 30.09.2002.

УДК 621.375

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР ДЛЯ РАСШИРЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЯЕМОЙ СРЕДЫ

В.А. Карпов, А.В. Ковалев

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

Одним их широко используемых датчиков газоаналитических систем обеспечения безопасности рудничной и открытой атмосфер, технологических процессов в химической промышленности и энергетическом секторе является термохимический датчик (ТХД), реагирующий на наличие горючих компонентов в измеряемой среде (ИС).

ТХД представляет собой два, идентичных по электрическим и тепловым параметрам, термоэлемента прямого подогрева. На одном из них происходит реакция беспламенного каталитического окисления измеряемых горючих компонентов, следствием которой является повышение его сопротивления, что и является выходным сигналом. Другой термоэлемент служит целям компенсации изменения температуры ИС. Таким образом, чувствительность датчика и его стабильность в широком температурном диапазоне ИС напрямую зависит от степени идентичности термоэлементов. Настоящий уровень технологии производства ТХД вполне удовлетворяет газоаналитические системы обеспечения взрывобезопасности. Однако в энергетическом секторе, где наряду с решением задач обеспечения безопасности техпроцессов, необходимо производить анализ отходящих дымовых газов с целью обеспечения эффективности сжигания топлива, качества изготовления ТХД явно недостаточно. Это объясняется тем, что при решении этой задачи ТХД эксплуатируются в широком диапазоне температур измеряемой среды (до 250 °С), а чувствительность должна составлять единицы ppm. Об этом свидетельствует уровень достигнутого в этой области [1-3].

В докладе рассмотрен подход, заключающийся в отказе от использования компенсационного элемента в качестве терморезистора прямого подогрева, при этом он используется как термопреобразователь сопротивления, измеряющий температуру анализируемой среды [4]. В измерительной схеме эта температура используется для коррекции информации, полученной с использованием измерительного термoeле-мента. Представлены функциональная схема газоанализатора и конструктивные особен-ности газового зонда. Рассмотрены особенности настройки и тарировки. Приве-дены результаты испытаний экспериментального образца газоанализатора на паро-вом котле типа Е1/9, в сравнении с показаниями прибора лабораторного газоанализа ТЕСТО-350.

Из результатов испытаний следует, что предложенный подход позволяет суще-ственно расширить область использования ТХД (чувствительность газоанализатора составила порядка 0,5 мВ/ррт в интервале температур ИС от 20 °С до 120 °С) – с одной стороны, и уменьшить весогабаритные параметры переносных газоанализато-ров (за счет снижения мощности потребления измерительной схемой в два раза и, тем самым, уменьшения веса автономных источников питания также в два раза) – с другой стороны.

Литература

1. Анализатор технологических газов. АГТ-СО. Техническое описание. ТО РБ 14561854.002-95.
2. ИКСОД-1. Руководство по эксплуатации. ТО РБ 5М2.840.119 РЭ.
3. Пат. G01N 27/16. Термохимический газоанализатор /В.А. Карпов, А.В. Ковалев, С.Н. Маль-ченко. – № 676 РБ; Заявл. 30.09.2002.
4. Пат. G01N 27/16. Термохимический газоанализатор /В.А. Карпов, А.В. Ковалев. – № 896 РБ; Заявл. 30.06.2003.

УДК 681.325

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМЕ ПУСКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.А. Карпов, Л.А. Захаренко, В.И. Шуликов

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

Е.А. Лядвин

РУП «ВЗЭП», г. Витебск, Республика Беларусь

Система пуска двигателя является одной из важнейших систем современного транспортного средства, поскольку ее функционированием определяется ресурс дви-гателя и сопутствующего дорогостоящего оборудования (аккумулятора, стартера, генератора и т. д.), а также безопасность его эксплуатации. В связи с этим, вопросы совершенствования подобных систем являются актуальными.

До недавнего времени ряд функций подобных систем выполнялись водителем, что вносило субъективность в определении основных параметров запуска и, тем са-мым, отличало их от требуемых. С появлением дешевых многофункциональных и надежных микроконтроллеров стало возможным полностью автоматизировать по-добные системы.

В докладе рассматривается система пуска двигателя трактора «Беларусь», ко-торая включает в себя блок управления факельным подогревателем [1] и блок управ-ления стартером [2]. Блок управления факельным подогревателем посредством из-мерения температуры окружающего воздуха, формирует заданный интервал време-

ни, необходимый для прогрева двигателя, с формированием разрешения работы блока управления стартером. Последний определяет положение рычага коробки переключения передач (КПП), диагностирует исправность обмотки генератора «W» и дает разрешение на пуск стартера. При достижении заданной частоты вращения коленчатого вала двигателя выключается реле стартера. Для трактора «Беларусь» индикация неисправности обмотки «W», факельных свечей, положения рычага КПП индицируется контрольной лампой с разной частотой мигания, удобной для оперативного восприятия водителем.

Даны конкретные значения интервалов времени, необходимые для прогрева двигателя, в функции температуры окружающего воздуха, частоты отключения стартера и частоты, при которой возможен повторный запуск двигателя. Представлены особенности работы блока управления стартером в режиме «холодной прокрутки», даны функциональные схемы вышеперечисленных блоков и блок-схемы алгоритмов их работы.

Вышеназванные блоки реализованы на микроконтроллере PIC 16F628 и микросхеме-термометре LM75. Особенностью работы блоков является наличие многочисленных помех по цепи питания (провал напряжения питания до 3В) и по цепи обмотки генератора «W» (ВЧ-составляющая с равномерным спектром до 1кГц). Применение аналоговой и цифровой фильтрации, алгоритмы которой рассмотрены в докладе, и микроконтроллера с низким напряжением питания позволило успешно решить задачу автоматического пуска двигателя.

В настоящее время данные блоки серийно выпускаются РУП «ВЗЭП» (г. Витебск) для комплектования систем пуска тракторов «Беларусь», выпускаемых «Минским тракторным заводом».

1. ФМП 8082. ТУ РБ 300125187.202-2002.

2. ФМС 8081. ТУ РБ 300125187.201-2002.

УДК 621.314.222.8

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ НОМ-6

О.В. Лымарь

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

Целью данного исследования является апробация разработанного метода измерения частотных характеристик трансформаторов напряжения (ТН) путем измерения и анализа частотных характеристик однофазного ТН НОМ-6.

Метод измерения состоит в сличении ТН с эталонным делителем напряжения, в качестве которого был использован делитель напряжения от прибора АВО-5 на 6 кВ с коэффициентом деления 16,87. Расчетные амплитудная и угловая погрешности данного делителя на частоте 2000 Гц составили $3,7 \cdot 10^{-4} \%$ и 0,026 град. Для измерения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) использовались вольтметры В7-20 и В7-47, подключенные к делителю напряжения и вторичной обмотке поверяемого ТН, соответственно. Перед проведением измерений оба вольтметра прошли поверку при синусоидальном напряжении частотой до 2000 Гц, при этом погрешность измерения обоих вольтметров не выходила за паспортную, составляющую 1 % для В7-20 и 0,5 % для В7-47. Для измерения фазо-частотной характеристики (ФЧХ) использовался измеритель разности фаз Ф2-34 с максимальной погрешностью измерения в 0,5 град.

Исследования проводились на ТН НОМ-6У4 за № 5294 1976 года выпуска. Полученные АЧХ и ФЧХ данного ТН во многом подтверждают заключения некоторых специалистов о том, что амплитудная погрешность таких ТН может достигать 20 %, а угловая – 25 град. (см. рис. 1). При этом, результат измерения АЧХ и ФЧХ не может быть вызван погрешностью использованных средств измерения, т. к. она на порядок ниже полученных данных.

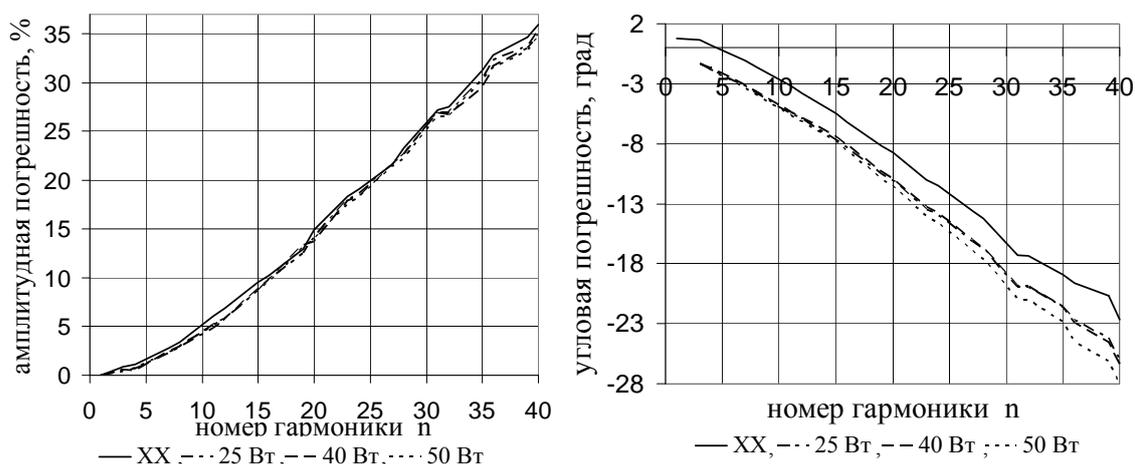


Рис. 1. Экспериментальные частотные характеристики ТН при испытательном напряжении в 62,5 % от номинального и различной вторичной нагрузке

Измеренные АЧХ и ФЧХ дают право утверждать, что погрешность измерения данного ТН не удовлетворяет условиям ГОСТ 13109-97, устанавливающего пределы допустимых относительных погрешностей измерений коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в 10 %, а коэффициента n -й гармонической составляющей напряжения в 5 %.

УДК 621.314.2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТРЁХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА, УЧИТЫВАЮЩИЕ НЕСИММЕТРИЮ МАГНИТОПРОВОДА И НАГРУЗКИ

Д.М. Лось

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

Создание математических моделей трансформаторов на практике обусловлено необходимостью расчёта протекающих в них электрических процессов. Кроме того, наличие адекватных моделей может быть полезным для оценки несимметричных и тепловых режимов работы, а также диагностирования трансформаторов.

В технической литературе двухобмоточный трансформатор обычно рассматривают в виде упрощённых эквивалентных схем: П-образной, Т-образной, и Г-образной. Ограничимся рассмотрением Т-образной эквивалентной схемы, так как она более проста по конфигурации в сравнении с П-образной схемой и более точна, чем Г-образная.

Для случая однофазного двухобмоточного трансформатора Т-образную эквивалентную схему можно считать приемлемой с позиции описания электрических процессов в трансформаторе. В итоге, зная параметры эквивалентной схемы, нагрузки и генератора, можно найти токи и напряжения в ветвях.

В случае трёхфазного двухобмоточного трансформатора Т-образная схема не описывает достоверно протекающие электрические процессы, так как не учитывает конструктивных особенностей трансформатора (вид магнитной системы и схему соединения обмоток). Поэтому возникла необходимость создания адекватной модели, учитывающей несимметрию магнитопровода и нагрузки.

При создании модели каждая из фаз, образованная первичной и вторичной обмотками, расположенными на одном стержне, рассматривалась как однофазный двухобмоточный трансформатор. Однако не пренебрегалась несимметрия плоского трёхфазного магнитопровода, в результате чего получилась пространственная математическая модель, представляющая собой включение особым образом трёх Т-образных схем.

Моделирование было осуществлено для трёхфазного двухобмоточного трансформатора со схемами соединения обмоток $Y/Y0-12$, $Y/Д-11$, $Y0/Д-11$ и $Д/Y0-11$. Была установлена возможность эквивалентного преобразования соединённых треугольником обмоток в звезду с нулём. В результате осуществлён переход от схемы $Y/Д$ к $Y/Y0$, от $Y0/Д$ к $Y0/Y0$ и от $Д/Y$ к $Y0/Y$. Учитывая аналогичность полученных схем, схема $Y/Y0$ была принята базовой.

Кроме того, были проведены экспериментальные исследования для базовой схемы на трёхфазном трансформаторе ТТ-0,4/220. При исследованиях нагрузка выбиралась в диапазоне от 0,13 до 0,52 номинального значения для данного трансформатора. Исследовалась работа трансформатора при симметричной и несимметричной нагрузке. В результате, максимальная относительная погрешность расчёта составила 6,6 % при содержании токов обратной и нулевой последовательности до 26,3 %.

Таким образом, разработаны эквивалентные схемы трёхфазного двухобмоточного трансформатора с учётом схем соединения обмоток и несимметрии магнитопровода, содержащие в отличие от традиционных схем три ветви намагничивания. Адекватность моделей подтверждена экспериментально.

УДК 621.314.221.212

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ НЕНОРМАЛЬНОГО НАГРЕВА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

О.Г. Широков, Д.И. Зализный, Д.М. Лось

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

Современные системы релейной защиты силовых масляных трансформаторов (СМТ) разнообразны и многофункциональны. Они позволяют отслеживать большое количество параметров и характеристик, влияющих на работоспособность трансформатора.

Тепловая защита – это один из основных видов защит СМТ. В микропроцессорных автоматических системах типа SEPAM данный вид защиты реализован на основе непосредственного измерения температуры масла с помощью термодатчиков, установленных в верхней и нижней части бака трансформатора. Кроме того, имеется

функция расчета температуры наиболее нагретой точки обмотки с использованием математической тепловой модели СМТ, принятой в МЭК 354.

Однако применяемые на сегодняшний день тепловые защиты не позволяют выявлять ненормальный нагрев трансформатора, обусловленный внутренними повреждениями последнего или неисправностями в устройствах его охлаждения. Это связано с тем, что подобные защиты реагируют только на критические значения температур трансформатора.

Авторами данного доклада разработана методика обнаружения ненормального нагрева СМТ на основе обучающейся математической тепловой модели. Такая модель позволяет получать значения температуры масла трансформатора расчетным путем при известных значениях температуры внешней охлаждающей среды, мощности нагрузки, количества работающих групп вентиляторов охлаждения и паспортных данных трансформатора. Модель способна подстраивать свои параметры под каждый конкретный трансформатор в течение некоторого периода обучения продолжительностью не более трех суток. Причем обучение модели должно проходить на работающем, заведомо исправном трансформаторе. Тогда обнаружение ненормального нагрева СМТ возможно путем сравнения расчетных значений температуры масла и полученных методом непосредственного измерения. Таким образом, предлагается осуществлять двойной контроль температуры масла – непосредственный и косвенный.

Для подтверждения работоспособности разработанной математической модели были проведены экспериментальные исследования на автотрансформаторе АТДЦТН-63000 подстанции «Центролит – 220» в г. Гомеле. В процессе исследований в память электронного регистратора в течение восьми суток записывались данные по температуре воздуха и температуре верхних слоев масла трансформатора. Затем данные обрабатывались на ПЭВМ.

В результате исследований получены следующие показатели:

- период обучения модели составил 48 часов;
- среднеквадратическое отклонение расчетных значений температуры масла от экспериментальных после периода обучения модели составило 1,8 °С;
- максимальное отклонение расчетных значений температуры масла от экспериментальных после периода обучения модели составило 2,4 °С.

УДК 621.314.222.8

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

О.В. Лымарь, О.Г. Широков

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

Для измерения показателей качества электрической энергии в сетях выше 0,4 кВ в соответствии с РД 34.15.501-88 должны применяться стандартные штатные трансформаторы напряжения (ТН). При этом возникает проблема достоверности таких измерений в связи с отсутствием данных о частотных характеристиках применяемых ТН. Несмотря на то, что этой проблемой занимаются сравнительно давно, необходимо констатировать тот факт, что она до сих пор до конца не решена, т. к. выполненные несколькими исследователями расчетно-экспериментальные оценки частотных характеристик ТН во многом противоречат друг другу.

Для решения этой проблемы в Российской Федерации был разработан и включен в программы испытаний метод измерений частотных свойств ТН. Он состоит в сличении испытуемого ТН с эталонным делителем напряжения. Испытательное напряжение формируется путем подачи на повышающий трансформатор напряжения основной частоты от сети через лабораторный автотрансформатор и регулирующий трансформатор с наложением на него одной из гармоник при помощи согласующего устройства, роль которого может выполнять резистивный шунт или трансформатор. Накладываемая гармоника формируется генератором звуковой частоты, сигнал с которого усиливается усилителем мощности и подается в согласующее устройство. Обладая сравнительной простотой, данный метод имеет ряд существенных недостатков, вытекающих из принципа формирования испытательного напряжения:

- в испытательном напряжении, на котором производятся измерения частотных характеристик ТН, могут присутствовать посторонние гармоники, проникшие из сети;
- фаза между гармониками испытательного напряжения формируется случайным образом, что может отразиться на точности результатов измерения.

Целью исследования является разработка более совершенного метода измерения частотных характеристик ТН. Как и рассмотренный выше, разработанный метод основан на сличении испытуемого ТН с эталонным делителем напряжения, но был изменен принцип формирования испытательного напряжения, что позволило избавиться от отмеченных недостатков. Сигнал испытательного напряжения формируется цифро-аналоговым преобразователем, усиливается усилителем мощности и подается на повышающий трансформатор. В этом случае есть возможность сформировать испытательное напряжение с различным количеством высших гармоник с заданными амплитудами и фазами, и снизить содержание посторонних гармоник в испытательном напряжении.

Предлагаемый метод измерения частотных характеристик ТН прошел экспериментальную проверку, которая полностью подтвердила теоретические предпосылки, на базе которых он создавался. Она показала, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения (K_U) на холостом ходу составил 0,7 %, в отличие от существующего метода, при котором содержание лишь одной третьей гармоники в испытательном напряжении, в лучшем случае, составляло 2 %. При номинальной вторичной нагрузке и испытательном напряжении в 58 % от номинального K_U составил 0,8 %. Таким образом, разработанный метод измерения частотных характеристик ТН позволяет, с одной стороны, значительно снизить содержание посторонних гармоник, а с другой стороны, формировать испытательное напряжение с несколькими гармониками со строго заданными амплитудами и фазами.

УДК 681.518.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

О.Г. Широков, Д.М. Лось

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

В настоящее время существует большое количество изношенного электрооборудования, выработавшего свой нормативный срок эксплуатации, и, в частности, си-

ловых трансформаторов. Такая ситуация с каждым годом усугубляется и актуальна не только в странах СНГ, но и во всём мире.

Замена выработавшего нормативный срок эксплуатации оборудования не всегда оправдана, так как оно может находиться в удовлетворительном техническом состоянии и пригодно для дальнейшей эксплуатации. Но в этом случае нельзя гарантировать его надёжность. Повысить надёжность такого оборудования можно путём его учащённого или непрерывного технического контроля. Такой контроль может осуществляться посредством применения систем автоматизированного мониторинга.

Ещё одним аргументом в пользу осуществления учащённого технического контроля с применением систем мониторинга служит общемировая тенденция перехода от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию электрооборудования по фактическому техническому состоянию.

Среди наиболее известных систем автоматизированного мониторинга силовых масляных трансформаторов можно отметить: «Т-Monitor» фирмы АВВ, «MS 2000» фирмы ALSTOM, «СУиМ ЗТР» ОАО ЗТР и «Power Monitor 3000» фирмы Sterling Group.

Анализ контролируемых системами базовых параметров для каждого элемента трансформатора позволил выделить пять основных элементов: вводы, основной бак, устройства РПН, охладитель и расширительный масляный бак. Согласно статистическим данным наибольшую повреждаемость имеют высоковольтные вводы, обмотки и устройства РПН. Поэтому именно на этих элементах сосредоточим особое внимание.

Вводы. Контроль изоляции вводов на основе измерения величин токов утечки и интенсивности частичных разрядов предусмотрен только в системе «Т-Monitor». Вместо этого в системе мониторинга «MS 2000» применён контроль давления во вводе, что позволяет лишь грубо оценить его изоляционные свойства.

Основной бак. Состояние межвитковой изоляции, обмоток и масла определяется посредством контроля влажности, газосодержания и температуры масла с последующим расчётом температуры обмоток по МЭК 354-91. Данная функция реализуется всеми из указанных системами мониторинга.

Устройство РПН. Измерение потребляемой приводом РПН мощности в системах «Т-Monitor» и «MS 2000» характеризует состояние привода и механизмов. Для этих же систем мониторинга развитие неисправностей в РПН определяется по величине температуры масла в баке РПН.

Особенностью системы автоматизированного мониторинга «Power Monitor 3000» является контроль качества электроэнергии, что позволяет учесть дополнительные потери, вызванные несимметричными режимами и высшими гармониками.

Критерием предпочтения одной системы мониторинга другой служит возможность и качество оценки состояния наиболее часто повреждаемых элементов трансформатора. Поэтому оптимальной по измеряемым базовым параметрам является система мониторинга «Т-Monitor» фирмы АВВ.

УДК 681.335.5

АВТОКОРРЕКЦИЯ ДРЕЙФА НАПРЯЖЕНИЙ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ УМНОЖИТЕЛЯ В КОМПЕНСАЦИОННОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

С.И. Леонов

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

В качестве квадраторов и обратноквадратичных вычислителей в преобразователях среднеквадратического значения напряжения (ПСКЗН) удобно использовать интегральные аналоговые перемножители сигналов (АПС), которые по стоимости, надежности, массогабаритным и техническим параметрам превосходят свои аналоги на дискретных элементах. Однако недорогие АПС (погрешность $\pm 1...2\%$), такие как К525ПС1, К525ПС2, AD633 не обеспечивают приемлемой точности ПСКЗН, а относительно высокоточные АПС (К525ПС3, AD534, AD734 и т. д.) нецелесообразно использовать экономически. Например, по данным прайс-листа «Analog Devices» (www.analog.com), стоимость AD534LN (погрешность $\pm 0,25\%$) составляет \$ 50,92 USA.

Использование недорогих и не самых точных и стабильных АПС становится возможным в аналоговом ПСКЗН компенсационного типа [Патент № 4494 РБ (рег. 18.02.2002 г.) /Е.Г. Абаринов, С.И. Леонов; Оpubл. 2000 //Афіцыйны бюлетэнь, 2(25), С. 52.], в котором достигается повышение температурной и временной стабильности преобразования. Однако необходимо исключить также влияние напряжений смещения нуля обоих входных и выходного усилителей интегрального АПС, а также температурного и временного дрейфа этих напряжений на точность преобразования СКЗ.

Это можно сделать в компенсационном ПСКЗН с автокоррекцией дрейфа напряжений смещения нуля умножителя, функциональная схема которого представлена на рисунке 1. Полный цикл работы ПСКЗН включает 4 такта:

- 1) коррекцию дрейфа напряжения смещения нуля усилителя X интегрального АПС AD633 (DA1) – замкнуты ключи Sw 2, Sw 3, Sw 7, Sw 11;
- 2) коррекцию дрейфа напряжения смещения нуля усилителя Y AD633 – замкнуты ключи Sw 2, Sw 6, Sw 8, Sw 12;
- 3) коррекцию дрейфа напряжения смещения нуля выходного усилителя AD633 – замкнуты ключи Sw 2, Sw 5, Sw 7, Sw 12;
- 4) собственно преобразование СКЗ входного напряжения U_1 в напряжение U_2 постоянного тока – замкнуты ключи Sw 1, Sw 4, Sw 9, Sw 10.

В результате 1-го такта автокоррекции в ЗУ1 запоминается напряжение, равное инверсной сумме текущих напряжений смещения усилителя X умножителя, сумматора $\Sigma 1$ и ЗУ1. В такте 4 преобразования СКЗ это напряжение компенсирует вышеуказанные напряжения смещения. Аналогичным образом проходят такты автокоррекции 2 и 3.

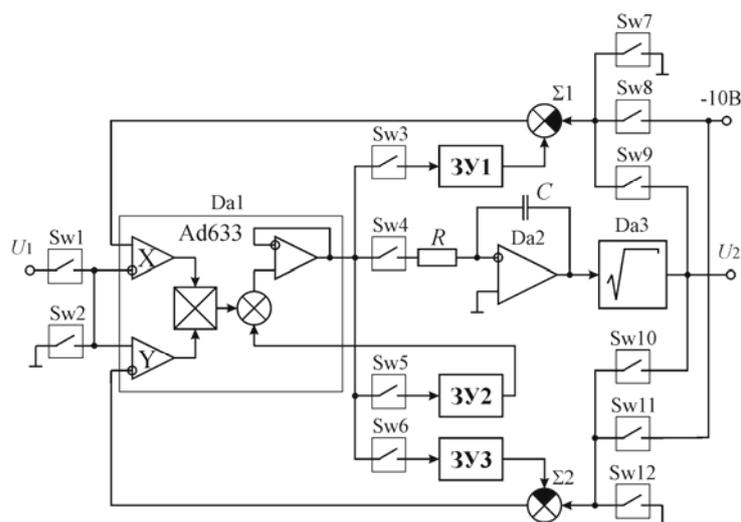


Рис. 1

Испытания макета ПСКЗН показали, что основная погрешность преобразования СКЗ напряжения составляет менее 0,1 %, время установления показаний с указанной точностью – не более 1 секунды.

УДК 612.317

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ Г. ГОМЕЛЯ

П.П. Изотов, А.А. Кондратьев

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

Для контроля освещения улиц города применяется дистанционное управление, позволяющее централизованно управлять освещением, а также получать информацию об освещении объектов.

В настоящее время в г. Гомеле для управления уличным (наружным) освещением используется телемеханическая система УТУ-4М. Эта система позволяет диспетчеру управлять освещением, получать информацию о включении, отключении освещения объектов, а также информацию, что команда включения освещения не выполнена. Система имеет возможность регулировки освещения в зависимости от ночного времени суток (до 2 часов ночи – полное освещение (вечернее), а после 2 часов ночи – половина или третья часть полного освещения (ночное)).

Данная система состоит из пульта управления (ПУ), находящегося в диспетчерской ДКПУП «Гомельгорсвет», и исполнительных пунктов (ПИ), находящихся на освещаемых объектах в шкафах наружного освещения.

Исходная система использует следующий протокол обмена информацией: если ЛС замкнута со стороны ПУ, то ПИ постоянно выдает на линию ответ в виде напряжения. Для посылки команды ПУ производит следующую последовательность действий. Сначала ПУ размыкает линию связи, при этом ПИ на время около 400 мс переводится в режим приема команд и снимает с линии напряжение ответа. После этого выставленное ПУ на линию напряжение будет рассмотрено ПИ как соответствующая команда. Переданная команда запоминается в ПИ. До завершения интервала

в 400 мс ПУ должен убрать напряжение команды с линии и вновь замкнуть ЛС. В этом случае ПИ возвращается в исходное состояние и выставляет на линию ответ. В противном случае, если линия еще разомкнута, ПИ выставляет на линию сигнал несоответствия.

Исполнительный пункт предназначен для выполнения следующих функций: приема, распознавания поступивших команд; непосредственного управления освещением объекта, в соответствии с принятой командой; непрерывного слежения за состоянием освещения объекта и выдачи на линию информации о состоянии освещения.

Находящиеся в эксплуатации исполнительные пункты выполнены на электромагнитных реле. Реле обладают такими недостатками, как низкая надежность, большие размеры, большое энергопотребление и дороговизна. Такими же недостатками обладают и изготовленные на их основе исполнительные пункты.

Целью модернизации исполнительных пунктов является уменьшение массогабаритных и энергетических показателей за счет применения новой элементной базы.

Применение современной оптоэлектронной базы при изготовлении исполнительных пунктов наружного освещения позволила уменьшить массогабаритные показатели в 10 раз, а энергетические – в 2,5 раза. При этом исполнительный пункт поддерживает систему команд телемеханической системы УТУ-4М:

– «команды» диспетчерского пульта: + 60 В – включить ночное; – 60 В – включить вечернее; 24 В (переменное 50 Гц) – отключить;

– «ответы» исполнительного пункта: + 60 В вместе с переменным 24 В – включено ночное; – 60 В вместе с переменным 24 В – включено вечернее; + 60 В – отключено; – 60 В – команда не выполнена.

Высокий уровень напряжения обусловлен использованием реле в ПУ и ПИ старых образцов.

УДК 681.883.068

ПРОВЕРКА АВИАЦИОННОГО РАДИОВЫСОТОМЕРА В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

В.И. Дробышевский, П.А. Хило, Н.В. Шатько, В.П. Солдатов

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

Показана возможность повышения достоверности и уменьшения времени проверки авиационного радиовысотомера (РВ) в наземных условиях за счет того, что проверку РВ проводят без отключения его приемной и передающей антенн и без непосредственного подключения внешнего устройства для его проверки.

Для реализации данного метода сигнал формируют передатчиком РВ, изменяют его параметры соответственно заданным высотам и принимают приемником РВ с последующим сравнением измеренных высот с заданными. Изменение параметров сигнала осуществляют путем отражения излученного сигнала отражателем, расположенным под антеннами РВ на уровне остаточной высоты, и амплитудной модуляции низкочастотным сигналом с регулируемой частотой, значения которой соответствуют заданным высотам. Работоспособность РВ определяют по соответствию показаний указателя высоты установленной частоте амплитудной модуляции. Изменяя частоту амплитудной модуляции СВЧ – сигнала, определяют работоспособность РВ во всем диапазоне высот, проводя таким путем проверку функционирования радио-

высотомера. При этом сигнал проходит через весь тракт проверяемого РВ, включая и его антенны, а проверку функционирования РВ осуществляют по установленной для данного типа радиовысотомера зависимости показания указателя высоты от частоты амплитудной модуляции СВЧ – сигнала.

Результаты экспериментальных исследований радиовысотомера малых высот типа РВ – УМ приведены на рисунке 1, где представлена зависимость показаний радиовысотомера ($H_{РВ}$) от частоты амплитудной модуляции ($F_{мод}$).

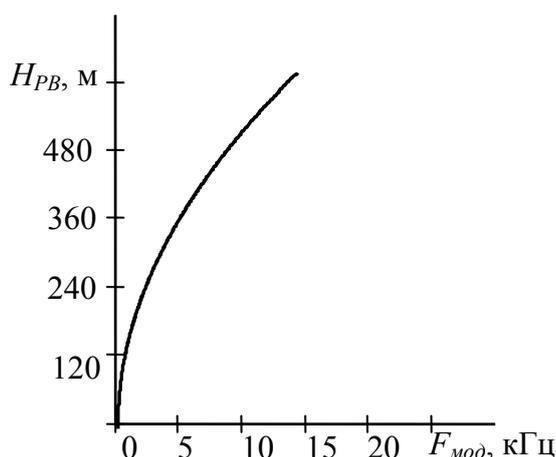


Рис. 1. Зависимость показаний радиовысотомера от частоты амплитудной модуляции

Таким образом, экспериментально полученные результаты подтверждают эффективность предложенного метода наземной проверки функционирования РВ и позволяют разрабатывать на их основе другие системы автоматической проверки радиовысотомера.

УДК 681.586.326:631.3

БЕСКОНТАКТНЫЙ ДАТЧИК КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

В.Б. Попов

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

А.И. Литаш, А.Г. Баранов

РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике», Республика Беларусь

Актуальной задачей для мобильных с/х машин является определение крутящего момента на вращающихся валах. Используемая для этого специальная аппаратура и, в частности, контактные токосъемные устройства отличаются коротким сроком эксплуатации и низким уровнем надежности. Для экспериментального исследования нагрузок в полевых условиях предпочтительным является бесконтактный способ передачи полезного сигнала. К сожалению, отечественная промышленность не выпускает бесконтактных токосъемников, а комплект одноканальной аппаратуры для определения крутящего момента фирмы НВМ (ФРГ) обходится в 15–20 тыс. евро.

Практику замера момента в полевых условиях удовлетворяет ошибка в 3–5 %. Это требование к измерительной аппаратуре объясняется сложностью обеспечения точности замера других параметров (урожайность убираемой культуры). При этом расстояние между передающей и приемной антеннами сравнительно невелико и определяется только биением карданного вала и вибрацией кронштейна приемной антенны, что составляет около 0,013 м. С учетом этих особенностей рациональным решением для бесконтактного токосъемника представляет устройство с емкостным каналом связи. Его достоинства – малые габариты, доступность компонентов, простота и надежность. Последняя достигается благодаря минимальному числу элементов, а потому и уменьшению числа паянных соединений.

В ГСКБ на современной элементной базе разработан и испытан датчик крутящего момента (ДКМ), использующий для передачи информации емкостной канал связи. Блок-схема ДКМ представлена на рисунке 1. Передающий блок состоит из: тензомоста, усилителя-преобразователя и умножителя напряжения. Источником питания является батарея (6...15 В).

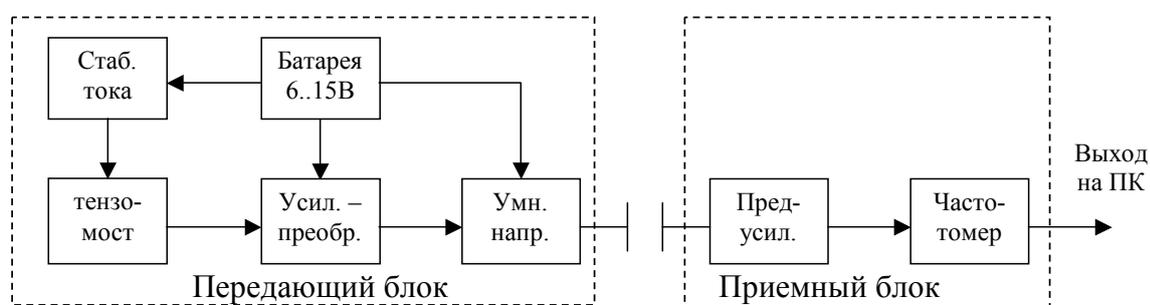


Рис. 1. Блок-схема бесконтактного датчика крутящего момента

Передающий блок смонтирован на вращающемся валу, а в качестве антенны используется несколько витков медного провода. Под действием крутящего момента вал деформируется, изменяя сопротивление плеч тензомоста и напряжение в измерительной диагонали. Сигнал с выхода моста поступает на усилитель-преобразователь, преобразующий его в частотный сигнал. Затем сигнал поступает на умножитель напряжения и далее на передающую антенну. Приемный блок ДКМ расположен на раме машины, в непосредственной близости от испытуемого вала, где он усиливается предусилителем и подается на частотомер. Для записи характеристики крутящего момента в реальном масштабе времени используется портативный персональный компьютер типа ноутбук.

УДК 621.316.9

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТРОЛЛЕЙБУСОВ

С.Н. Кухаренко

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

В современном электрооборудовании троллейбусов неуклонно растет объем применяемых полупроводниковых преобразователей с широтно-импульсным методом регулирования.

Внедрение таких преобразователей обусловлено не только высоким качеством регулирования, но и большой экономией электроэнергии.

К сожалению, эти преобразователи очень чувствительны к перенапряжениям, возникающим при грозовых разрядах, всплесках напряжения в сети и переходных процессах при коммутациях.

Существующие методы защиты от перенапряжений на основе варисторов, ограничительных диодов, разрядников не позволяют надежно защищать полупроводниковые преобразователи, поскольку они имеют большой защитный коэффициент $K = 1,4 - 1,8$ и паразитные динамические параметры.

Кроме того, из-за наличия в них дифференциального и динамического сопротивлений даже ограниченные напряжения могут привести в переходных режимах к двукратному перенапряжению.

Предложено использовать трехзвенное защитное устройство, состоящее из входного варистора, реактивного защитного фильтра, ограничительного диода. Таким образом, основная часть энергии перенапряжения поглощается входным варистором, а реактивный защитный фильтр препятствует прохождению импульса тока к защитному диоду и силовым транзисторам преобразователя.

Реактивный фильтр по своему назначению должен поглощать импульсы перенапряжения и не являться источником перенапряжений, вызываемых внутренними автоколебаниями.

Аналитическое решение этой задачи позволило определить параметры компонентов фильтра для различных значений емкости нагрузки и длительности импульса перенапряжения.

Для полученных таким образом значений емкости, индуктивности, активного сопротивления был проведен машинный анализ результатов, а также исследован массив номинальных значений компонентов фильтра. В результате анализа на ЭВМ были уточнены значения номиналов с учетом разбросов, а также выявлены критические значения параметров компонентов. К примеру, оказалось, что коэффициент взаимной индуктивности не может быть менее 0,8, а снижение уровня взаимности приводит к повышенным требованиям по стабильности и отклонению от номинальных значений. При практической реализации устройства защиты выполнение условия $M \geq 0,8$ потребовало усложнения конструкции дросселя.

Предварительные испытания, проведенные на стендах СП «Дорэлектромаш», подтвердили правильность аналитических и конструктивных решений, а также высокую эффективность применения разработанного устройства.

УДК 621.316.3

УЧЕТ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА ПРОВОДНИКОВ ПРИ ИХ СОГЛАСОВАНИИ С ЗАЩИТНЫМ АППАРАТОМ

Ю.Н. Колесник, А.Н. Рабков, Д.С. Смягликов

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

Условием согласования проводников с током срабатывания защитного аппарата (например, предохранителя) $I_{нл.вст.}$ является следующее:

$$I_{нл.вст.} \leq \frac{I_{д.дон}}{K_3},$$

где K_3 – кратность длительно допустимого тока провода $I_{0,доп}$ к току срабатывания защитного аппарата.

Длительно допустимый ток проводника определяется расчетным током группы электроприемников. При этом известно, что расчетный ток зависит не только от показателей работы электроприемников, но и от постоянной времени нагрева проводника T_0 . Следовательно, от постоянной времени нагрева проводника зависит и ток срабатывания предохранителей $I_{пл.вст.}$. Для установления этой зависимости разработан алгоритм, позволивший получить номограммы для определения максимально допустимого тока срабатывания защитного аппарата с учетом постоянной времени нагрева T_0 защищаемой сети. В частности, на рисунке 1 представлена такая номограмма для сетей, выполненных открыто проложенными проводами с резиновой изоляцией (табл. 1), защищаемых предохранителями и не требующих защиты от перегрузки ($K_3 = 0,33$).

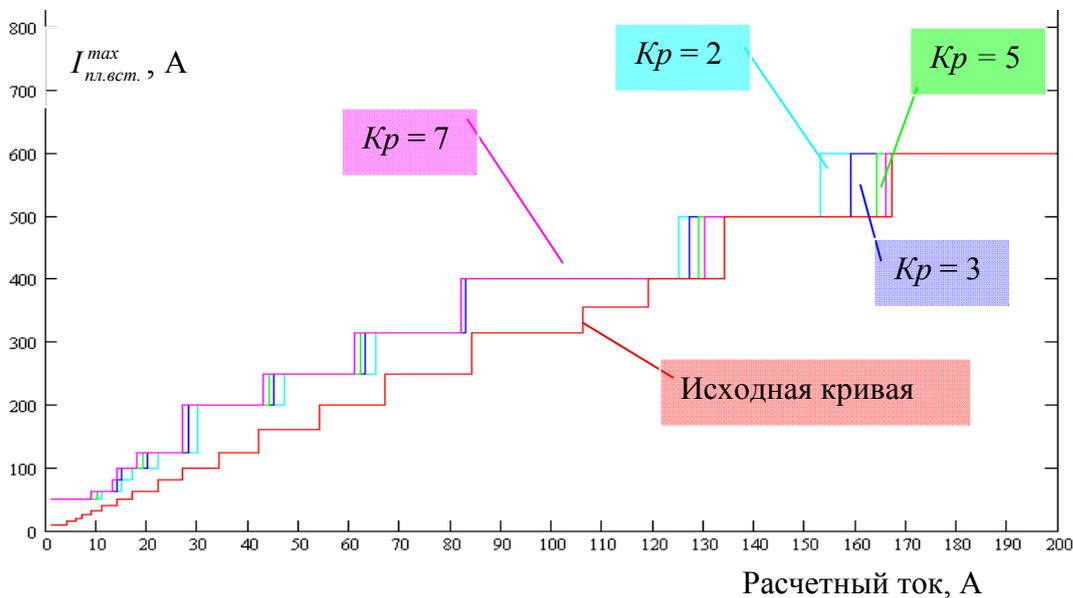


Рис. 1. Номограмма для определения максимального тока плавкой вставки

Таблица 1

Зависимость постоянной времени нагрева провода от его сечения

Сечение, мм ²	6	10	16	25	35	50	70	95	120
Постоянная времени нагрева, мин	3	4,2	5,5	7,2	9	12	15	18,4	21,4

Таким образом, согласование защитного аппарата с учетом постоянной времени нагрева проводника позволяет уточнить его максимальный ток срабатывания и, следовательно, повысить надежность электроснабжения.

УДК 621.643.32

КОНТРОЛЬ ТОКОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.Б. Вериго

РУП «Гомельтранснефть «Дружба», Республика Беларусь

В.В. Гизенко

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

Для защиты подземных трубопроводов от коррозии по трассе их залегания сооружаются станции катодной защиты (СКЗ), в состав которых входят источник постоянного тока (защитная установка), анодное заземление, контрольно-измерительный пункт, соединительные провода и кабели. На трубопровод через определенные участки подается подпитывающее напряжение, как следствие по трубе течет электрический ток. В силу неидеальности трубы и ее изоляции происходят утечки тока в землю, в результате чего могут появиться обесточенные участки (или участки с токами, которые не оказывают защитного действия).

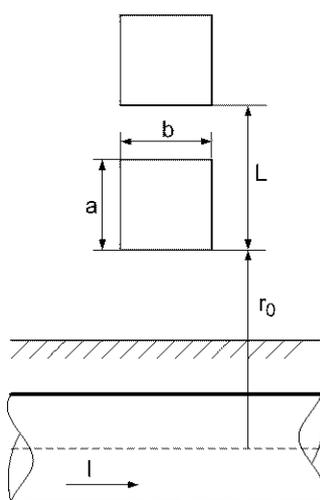


Рис. 1. Схема измерения токов трубопровода

В настоящее время достаточно активно разрабатываются устройства контроля параметров катодной защиты, однако в большинстве случаев методика измерения сводится к применению дополнительных генераторов, подключаемых к трубопроводу и измерению электромагнитных излучений от заданного переменного тока [1].

Следующий метод позволяет без применения дополнительных генераторов определять значение тока в трубе и находить обесточенные участки.

Ток СКЗ представляет собой постоянный ток со слабо отфильтрованной переменной составляющей. Пульсации тока достигают 10 % от номинального тока СКЗ. С помощью индукционных датчиков можно измерить значение пульсаций тока. Система датчиков для измерения переменной составляющей тока СКЗ представлена на рис. 1. Индукционные датчики представляют собой катушку с числом витков ~ 1000 . Необходимость применения двух датчиков объясняется наличием в рас-

четных формулах двух неизвестных: I_m – амплитуда пульсаций тока СКЗ; r_0 – глубина залегания трубопровода.

Формулы для расчета амплитуды пульсаций тока СКЗ:

$$I_m = \frac{\varepsilon_1}{A \cdot \ln\left(1 - \frac{a}{r_0}\right)};$$

$$r_0 = \frac{-L \cdot (2 - \beta) \pm \sqrt{L^2 \cdot (2 - \beta)^2 - 4 \cdot (1 - \beta) \cdot (L^2 - \beta \cdot (\beta - 1))}}{2 \cdot (1 - \beta)};$$

$$\beta = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – ЭДС наведенные в рамках; A – коэффициент, учитывающий электрические параметры рамки.

Таким образом, зная значение I_m в точке измерения и отношение переменной составляющей тока к постоянной на выходе СКЗ можно получить значение тока трубопровода в точке измерения.

Литература

1. Каевицер В.И. и др. О возможности контроля изоляции подводных магистральных трубопроводов радиотехническим методом //Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48, № 5.

УДК 621.315.052

ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛА МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВРЕМЕННОЙ ФОРМЫ

Б.А. Верига, Н.И. Вяхирев, И.В. Осипенко

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

В многоканальных системах передачи информации повышенные требования предъявляются к перекрестным помехам от соседних каналов. Так, в электроэнергетике осуществляется высокочастотная связь в диапазоне частот до 1 МГц по линиям электропередач при ширине полосы каналов $\Delta f_k = (3-5)$ кГц и частотном разделении их $\Delta f_p \approx \Delta f_k$. При разделении каналов используют фильтры очень высокого порядка (8 и более), что накладывает высокие требования на выбор комплектующих, качество изготовления и настройку.

Идея метода преобразования временной формы состоит в следующем. Входной сигнал, в соответствии с теоремой Котельникова, дискретизируется по времени с периодом выборок $\Delta t = 1/2\Delta f_k$ и по амплитуде с дискретом ΔU . Формируется последовательность значений $U(t_m) = U_m$.

После этого формируются отдельные сигналы временной формы вида [1].

$$\xi_m(t) = \begin{cases} U_m \cdot \frac{\sin N \frac{\pi}{2} (t - t_m) / \Delta t}{\sin \frac{\pi}{2} (t - t_m) / \Delta t} ; & |t - t_m| \leq N\Delta t \\ 0 & |t - t_m| > N\Delta t \end{cases} \quad (1)$$

Порядок N зависит от требуемой степени фильтрации исходного сигнала. Сигналы $\xi_m(t)$ суммируются и поступают в канал связи. Функция $\xi_m(t)$ при $N \rightarrow \infty$ имеет линейчатый спектр с идеальной прямоугольной огибающей. При конечном N вне заданной полосы частот уровень сигнала можно обеспечить существенно ниже чем при стандартной фильтрации. Так, при $N = 8$ в полосе Δf_p содержится 0,5 % энергии сигнала, при $N = 16 - 0,35$ %. Уровень перекрестных помех в обоих случаях не превышает (-60) дБ. При таком методе фильтрации происходит задержка сигнала на время $\tau = N\Delta t$, что реально не снижает оперативность передачи информации. Необходимо отметить, что предлагаемая базисная функция (1) внешне сходна с импуль-

сом, полученным в [2] численным методом. Преобразование временной формы по (1) производит изменение спектра сигнала во всей полосе частот, а не только на краях диапазона, что присуще полосовой фильтрации. Предлагаемый метод фильтрации позволит существенно повысить качество связи, надежность систем передачи информации в целом, и произвести уплотнение каналов в допусаемом частотном диапазоне.

Литература

1. Верига Б.А., Вяхирев Н.И. Линейно независимый базис в системах передачи информации //Современные проблемы машиноведения: МНТК, г. Гомель. – 2002. – С. 109.
2. Котельников В.А. Импульсы с наименьшей энергией в спектре за пределами заданной полосы //Радиотехника и электроника. – 1997. – Т. 42, № 4 – С. 436-441.

УДК 621.643.32

КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ТОКАМ УТЕЧКИ

Б.А. Верига, Н.И. Кабаев

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

Предлагается метод бесконтактного контроля состояния изоляции нефтепроводов по регистрации магнитных полей, формируемых токами утечки в местах нарушения изоляции.

Электрохимическая защита трубопроводов осуществляется путем поддержания определенного потенциала его по отношению к земле. Установленные вдоль трубопровода катодные станции формируют в месте подключения потенциал порядка – 2 В при токах защиты до 10 А и выше. В местах нарушения изоляции токи «стекают» в землю и имеют радиальную к трубопроводу компоненту (рис. 1а), создающую магнитное поле. Вследствие конечного фактора экранирования магнитное поле проникает внутрь трубопровода и может быть зарегистрировано индукционными рамками, установленными на движущемся с потоком нефти измерительном модуле. Индуцируемая ЭДС определяется соотношением:

$$\varepsilon \cong j_0 \cdot \frac{r_0^2}{R_0^2} v \cdot F(x, y, R_0),$$

где j_0 – плотность тока утечки, r_0 , R_0 – радиус пятна нарушения изоляции и трубопровода, соответственно, v – скорость движения нефти в трубопроводе, $F(x, y, R_0)$ – функция, зависящая от положения датчика и размеров трубопровода.

Измерению фактически подлежит значение $j_0 \cdot r_0^2$ – величина тока утечки. Детальный анализ зарегистрированной ЭДС и обработка с учетом вида зависимости $F(x, y, R_0)$ позволяют отдельно установить протяженность дефектного участка и его положение по азимуту по положению датчика.

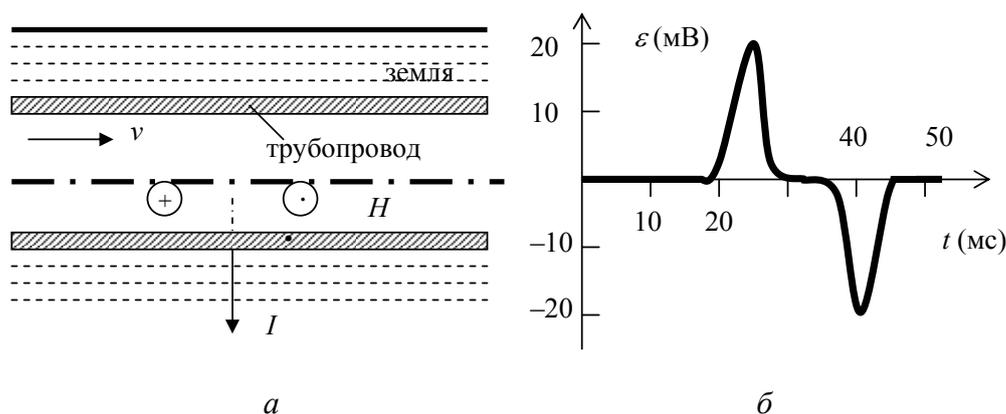


Рис. 1: а – геометрия задачи; б – результаты измерений

На рис. 1б представлена типичная зависимость $\varepsilon(t)$. Многочисленные натурные испытания на трубопроводе подтвердили правильность предложенной модели анализа дефектных участков и возможность использования предлагаемого метода в технологии обеспечения безопасности нефтепроводного транспорта.

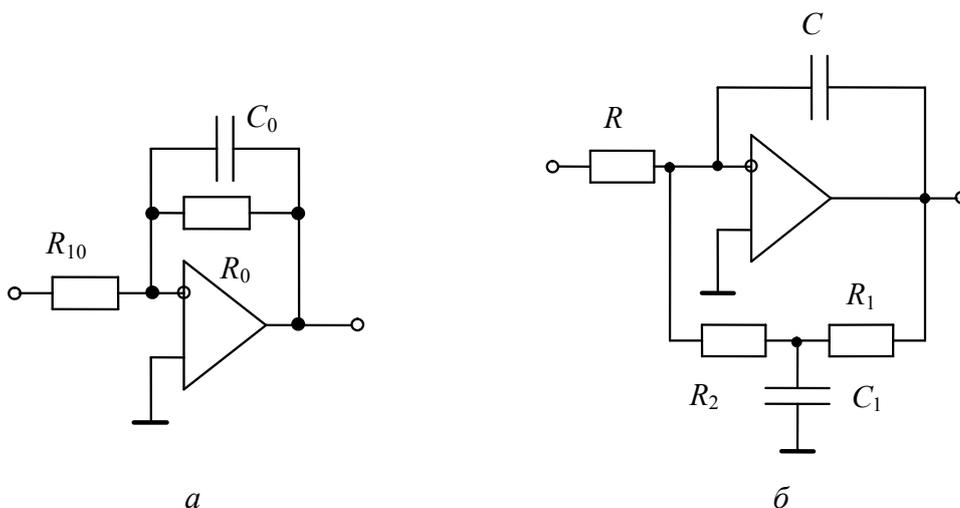
УДК 612.317

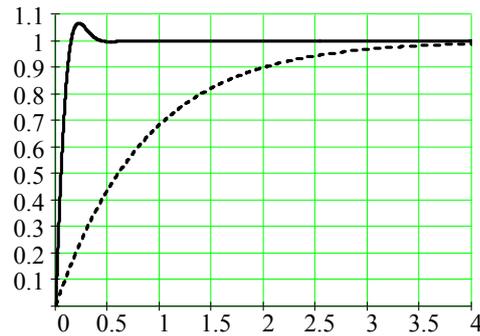
СРАВНЕНИЕ ФАЗОСДВИГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО ИНЕРЦИОННОГО ЗВЕНА И ЗВЕНА ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ТИПА

П.П. Изотов

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

Для формирования 90-градусного фазового сдвига синусоидального сигнала можно использовать как активное инерционное звено первого порядка (рис. 1а), так и фазосдвигающее устройство интегрирующего типа (рис. 1б).





в

Рис. 1

Цель исследования: выяснить какое из вышеуказанных устройств предпочтительнее использовать при формировании 90-градусного фазового сдвига синусоидального сигнала.

Были определены значения элементов фазосдвигающих устройств, когда фазовая погрешность (δ) равна: 1° ; $0,5^\circ$; $0,1^\circ$ и коэффициент передачи по переменному току $W(\omega)$ на частоте (f) 10 Гц или 100 Гц равен 1. Также были вычислены значения коэффициента передачи на постоянном токе ($W_0(0)$, $W(0)$) и время достижения установившегося значения переходной характеристики (τ_0 , τ) с точностью $\pm 5\%$. Результаты вычислений сведены в таблицу 1.

Таблица 1

№	Активное инерционное звено					f , Гц	$W(\omega)$	δ , град.	Фазосдвигающее устройство интегрирующего типа					
	R_{10} , МОм	R_0 , МОм	C_0 , нФ	$W_0(0)$	τ_0 , с				R , МОм	$R_1=R_2$, МОм	C , нФ	C_1 , нФ	$W(0)$	τ , с
1	1,518	86,67	10	57,081	2,6	10	1,048	1,052	1,6	4,7	10	20	5,875	0,28
2	0,152	8,667	10	57,081	0,26	100	1,048	1,052	0,16	0,47	10	20	5,875	0,028
3	1,55	194,4	10	125,08	5,97	10	1,026	0,47	1,6	6,2	10	20	7,75	0,37
4	0,155	19,44	10	125,34	0,6	100	1,026	0,469	0,16	0,62	10	20	7,75	0,037
5	1,58	799,9	10	506,11	24	10	1,007	0,114	1,6	10	10	20	12,5	0,596
6	0,158	79,99	10	506,11	2,4	100	1,007	0,114	0,16	1	10	20	12,5	0,06

На рис. 1в представлены нормированные переходные характеристики активно-инерционного звена (пунктирная линия) и фазосдвигающего устройства интегрирующего типа (сплошная линия), имеющие параметры № 1 (см. табл. 1).

Как видно из таблицы 1, при фазовой погрешности $\delta = 1 \div 0,1^\circ$ коэффициент передачи на постоянном токе фазосдвигающего звена интегрирующего типа меньше активного инерционного звена в $10 \div 42$ раза; номиналы используемых резисторов меньше в $18,3 \div 80$ раз; быстродействие выше в $9,3 \div 40$ раз. Поэтому при формировании 90-градусного фазового сдвига синусоидального сигнала предпочтительнее использовать фазосдвигающее устройство интегрирующего типа.

ВИБРАЦИОННАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ**Е.А. Храбров, В.Н. Гарбуз***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

В линиях связи, если нет возможности провести проводную линию связи, как правило, используют радиоканалы, однако в некоторых случаях передачу сообщений лучше осуществлять с помощью вибрации. Например, после мощного электромагнитного импульса вся электронная аппаратура, имеющая связь с радиоэфиром, выйдет из строя и радиолинии связи работать не будут. При авариях в подземных выработках для добычи угля или соли иногда нарушается телефонная связь с шахтерами, оказавшимися в завалах, и здесь тоже может пригодиться связь с помощью вибрации. Анализ основных параметров надежности такой связи сделан в данной работе.

Чтобы обеспечить требуемую надежность вибрационной связи с излучателем небольшой мощности, следует вводить избыточность в передаваемые сообщения. Хорошие результаты достигаются, когда для передачи символов сообщения используются ортогональные псевдослучайные последовательности. Корреляционная обработка в приемнике позволяет выделять из шумов заранее известный ансамбль символов с хорошо просчитываемыми вероятностями неприема и ложного срабатывания. Вероятность P_{lie} ложного срабатывания приемника от входного шума в отсутствие сигнала можно определить по полученной авторами формуле. Вероятность неприема $P_{nepriem}$ всей псевдослучайной последовательности, т. е. одного символа команды определяется по полученной авторами формуле. Конструкция сделанного авторами макета вибрационного излучателя представляет собой вертикальный стержень с ферромагнитной вставкой, приваренный к плоскому основанию – опорной плите. На стержне подвешена на пружине катушка провода, концы которой подключены к мостовому выходному усилителю, транзисторы которого работают в ключевом режиме в соответствии с передаваемым сигналом. Приемное устройство макета содержит сейсмоприемник, малозумящий узкополосный усилитель и корреляционный декодер принимаемых сигналов. Выбор числа разрядов псевдослучайных последовательностей, передающих символы команд, и задание параметров декодера осуществлялся по графику, построенному по вероятностям ложного срабатывания и неприема сигнала, рассчитанные по полученным авторами формулам, который приведен на рис. 1.

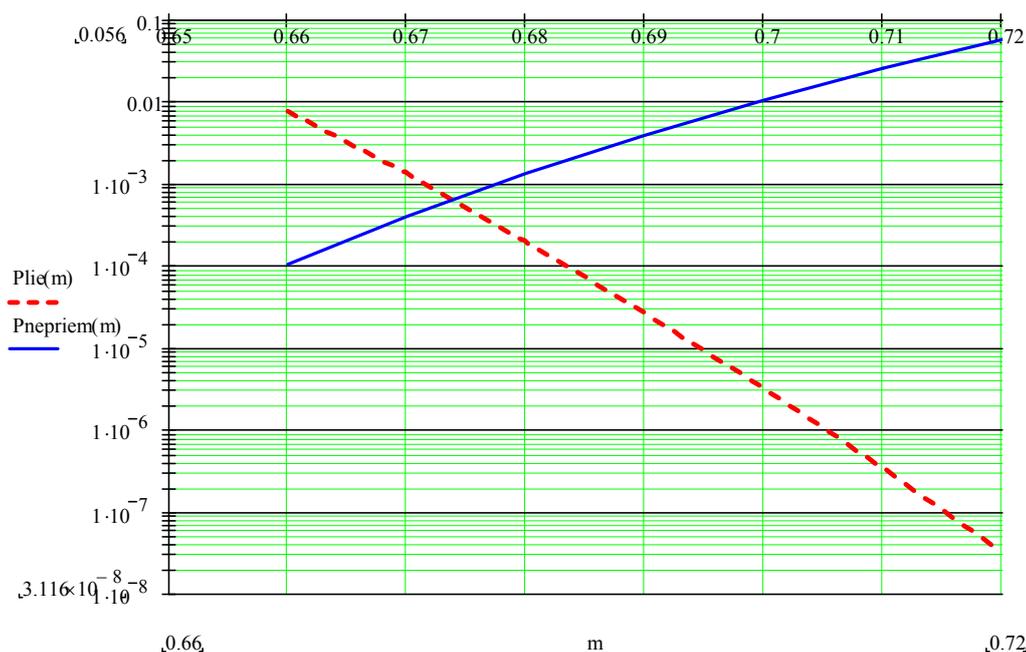


Рис. 1. Зависимость вероятностей ложного срабатывания $Plie(m)$ и $Pnepriem(m)$ неприема сигнала от относительного порога (m) срабатывания корреляционного деодера при: $t_n - 3$ суток, $n - 255$ бит, $Kusn = 0,707$

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УЧАСТКОВ НЕФТЕПРОВОДА

Н.В. Токочакова, Ю.Н. Колесник, С.И. Половинко

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

При решении задач по повышению энергоэффективности транспортировки нефти необходимо учесть сложившиеся закономерности электропотребления. Известно, что на режим электропотребления участков нефтепровода влияет большое количество факторов, среди которых основными являются грузооборот и характеристики нефти, конфигурация и конструктивные параметры нефтепроводов, состав включенных насосных агрегатов (НА). Для определения степени влияния составов включенных НА на режим электропотребления нефтепроводов разработаны эмпирические модели зависимости удельного электропотребления от грузооборота нефти, дифференцированные по кварталам и составу НА, для 3-х участков нефтепровода за 2 года. При этом установлено, что все многообразие этих моделей в зависимости от влияния НА на режим электропотребления нефтепровода может быть представлено четырьмя характерными типами (см. рис. 1).

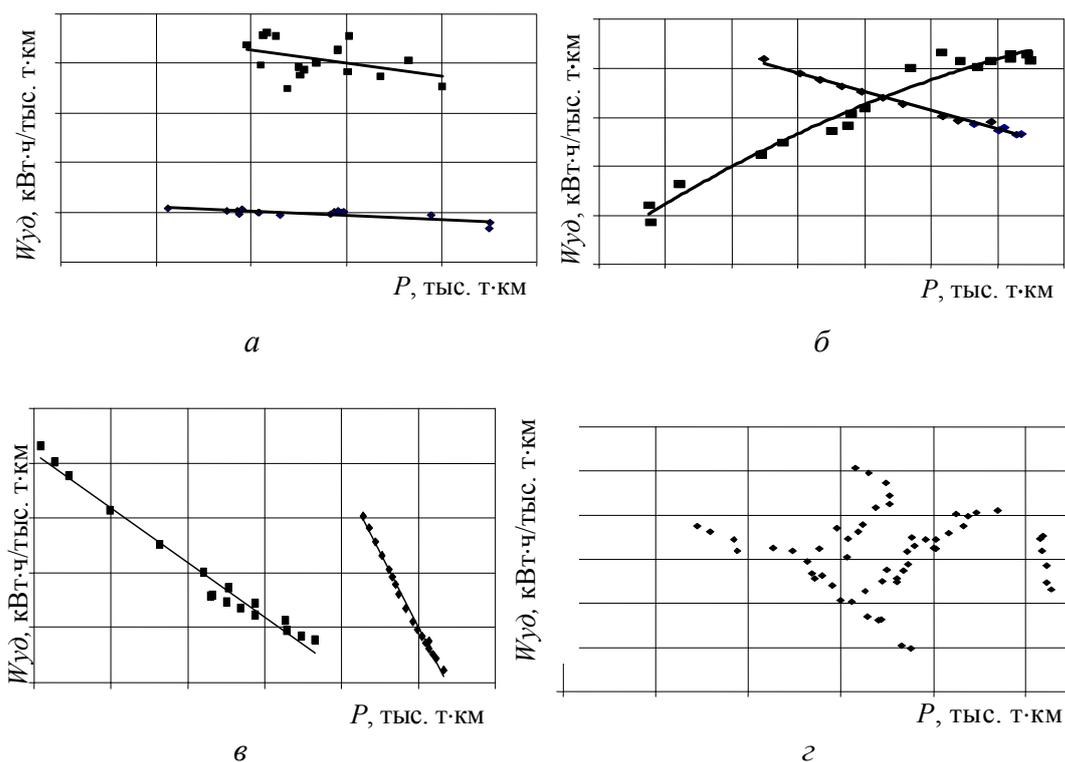


Рис. 1. Классификация моделей электропотребления: а – модель с разделением кривых по зонам удельного электропотребления; б – модель с пересечением кривых удельного электропотребления; в – модель с разделением кривых по диапазонам грузооборота нефти; г – модель с неопределенным влиянием НА на режим электропотребления

С целью экономии электроэнергии предлагается для моделей с разделением кривых по зонам удельного электропотребления $W_{уд}$ (рис. 1а) работать составом НА, дающим более низкое значение $W_{уд}$. Второму типу моделей (рис. 1б) характерен граничный грузооборот нефти P , разделяющий зоны экономичной работы составов НА. Для участков нефтепровода, режимы электропотребления которых описываются третьим типом моделей (рис. 1в), необходимо решить оптимизационную задачу по поиску наиболее экономичного варианта работы НА. Модели, представленные на рис. 1г, требуют определения аналитических зависимостей удельного расхода электроэнергии.

УДК 681.58

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ РЕЗОНАНСНЫМ СПОСОБОМ

Ю.Н. Холязников

Научно-практический центр пожарной безопасности Учреждения
«Гомельское областное управление МЧС Республики Беларусь»

Разработка точных и оперативных методов и средств диагностики состояния лесных древесных насаждений, пораженных экстремальными (пожары, ранневесенняя засуха) и длительнодействующими (корневая губка, временное избыточное увлажнение почвы) факторами среды, имеют важное практическое и экономическое

значение при проведении в них хозяйственных мероприятий. Однако ныне известные методы диагностики жизнеспособности поврежденных деревьев по величине температуры ствола в заданной точке, биоэлектрического потенциала и полного электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей, являются малоэффективными, в связи с низким доверительным интервалом и необходимостью применения разрушающих методов исследований. Таким образом, актуальна разработка новых, универсальных, высокоэффективных, неразрушающих электрофизических методов диагностики жизнеспособности лесных древесных насаждений.

Следовательно, в качестве показателя жизнеспособности лесных древесных растений, вполне можно использовать такой электрофизический параметр, как соленасыщенность ствола дерева. Измерение данного электрофизического параметра будем проводить резонансным способом. В этом случае, измерительная электрическая цепь будет представлять собой параллельный колебательный контур, состоящий из конденсатора и катушки индуктивности (соленоида), у которого сердечником является ствол дерева. Таким образом, добротность полученного контура Q зависит от потерь в катушке индуктивности. Величина потерь соленоида зависит от солевой насыщенности среды γ сердечника, которая, в свою очередь, непосредственно связана со степенью жизнеспособности древесного растения, и рассчитывается по формуле:

$$\gamma \approx \frac{1}{Q} \cdot \sqrt{\frac{C}{L} - \frac{b}{R}},$$

где C – емкость конденсатора (контура и измерительного модуля); R – активное сопротивление витков соленоида; L – индуктивность соленоида; b – константа измерительного прибора.

Исследовав зависимость добротности Q от степени жизнедеятельности ствола дерева, который является сердечником катушки индуктивности, можно получить данные, позволяющие проводить диагностику состояния лесных древесных растений. Общая тенденция состоит в том, что параметр жизнедеятельности тем выше, чем меньше значение Q при постоянстве геометрии ствола. Предельное значение Q достигается для сухой древесины. Высокие значения будут для частично пораженного дерева. Следует ожидать, что для деревьев разных пород зависимость $\gamma(Q)$ будет различной. Поэтому следует воспользоваться методом интерполяции $\gamma(Q)$ по степеням Q с различными коэффициентами в разложении, зависящими от породы дерева. Коэффициенты можно установить при наборе экспериментальных статических характеристик. В докладе приводятся результаты экспериментов для сосновых насаждений различного возраста.

УДК 621.372

ФИЛЬТРЫ СВЧ ПОГЛОЩАЮЩЕГО ТИПА ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

М.П. Тиличенко

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

Принцип действия СВЧ фильтров в большинстве случаев основан на частотно-избирательном отражении СВЧ сигнала в полосе заграждения обратно к генератору, что нарушает оптимальные условия для его нормальной работы, если между выхо-

дом генератора и входом фильтра отсутствует элемент развязки (аттенюатор или СВЧ вентиль).

Это явление отсутствует в фильтрах поглощающего типа, в которых в полосе заграждения СВЧ сигнал направляется в согласованную нагрузку, либо поглощается в самом фильтре, не попадая обратно к генератору.

В работе [1] предложены две разновидности узкополосных СВЧ фильтра такого типа на основе резонатора бегущей волны (РБВ) и направленного фильтра (НФ) для диапазона дециметровых волн. Узкополосность таких фильтров обусловлена высокой добротностью этих резонансных устройств.

Для увеличения их широкополосности были проведены численные исследования частотных характеристик каскадного соединения РБВ и НФ, при соблюдении известного из теории антенн принципа логарифмической периодичности в пространственной структуре фильтров. При этом принцип электродинамического подобия соблюдался за счет изменения геометрических размеров звеньев и расстояния между ними в соответствии с законом геометрической прогрессии с периодом τ , а принцип отсечки или обратного излучения в исследуемых фильтрующих структурах соблюдался за счет резонансного поглощения СВЧ мощности в кольцевых резонаторах, либо за счет ответвления СВЧ мощности через направленные фильтры в согласованную нагрузку.

Рабочая полоса частот в таких фильтрах ограничивается только числом резонансных звеньев, так как при изменении частоты активная зона перемещается вдоль структуры и коэффициент передачи остается неизменным.

Результаты численных исследований могут быть использованы при проектировании широкополосных фильтров поглощающего типа.

Литература

1. Тиличенко М.П., Тиличенко В.М. Режекторные фильтры СВЧ поглощающего типа //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2001. – № 2. – С. 20-27.

УДК 621.01
ББК 34.4
С56

С56 Современные проблемы машиноведения: Тезисы докладов V Международной научно-технической конференции (1-2 июля 2004 г., г. Гомель). – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2004. – 141 с.

ISBN 985-420-243-7

В сборнике содержатся тезисы докладов Международной научно-технической конференции. Представлены новейшие результаты научных исследований в области динамики, прочности и надежности машин; моделирования процессов, автоматизации конструирования и проектирования машин; аэро- и гидродинамики, пневмо- и гидросистем машин и аппаратов; приборов и систем автоматического управления.

Тезисы докладов предназначены для широкого круга научных и инженерно-технических работников промышленных предприятий и научно-исследовательских учреждений, а также аспирантов и студентов технических вузов.

Под общей редакцией к.т.н., доцента С.Б. Сарело

Редакционная коллегия:

Кенько В.М., к.т.н., доцент
Верещагин М.Н., д.т.н., профессор
Шабловский О.Н., д.ф.-м.н., профессор
Михайлов М.И., к.т.н., доцент
Верига Б.А., к.т.н., доцент
Асенчик О.Д., д.т.н., доцент
Луковников В.И., д.т.н., профессор

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

УДК 621.01
ББК 34.4

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2004
ISBN 985-420-243-7

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Тезисы докладов

V Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные Павлу Осиповичу Сухому)

Гомель, 1-2 июля 2004 года

Корректоры: Н.Г. Мансурова, Л.Ф. Теплякова, Н.И. Жукова
Компьютерная верстка и дизайн: Н.Б. Козловская,
Е.Н. Герасименко, Н.В. Широглазова

Тезисы докладов отпечатаны в авторской редакции

Подписано в печать .06.2004 г.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризографическая печать. Усл. печ. л. 16,74. Уч. - изд. л. 14,6.
Тираж 150 экз. Изд. № 67. Заказ № .

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого».
Лицензия ЛИ № 02330/0133207 от 30.04.2004 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

Отпечатано на ризографическом оборудовании
Учреждения образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого».
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.