

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Тезисы докладов
IX Международной научно-технической конференции
(научные чтения, посвященные П. О. Сухого)

Гомель, 25–26 октября 2012 года

Гомель
ГГТУ им. П. О. Сухого
2012

УДК 621.01(043.2)

ББК 34.4

C56

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. *Г. П. Тариков*
канд. техн. наук, доц. *В. М. Кенько*
д-р хим. наук *Е. Н. Подденежный*
канд. техн. наук, доц. *И. Н. Степанкин*
д-р физ.-мат. наук, проф. *О. Н. Шабловский*
канд. техн. наук, доц. *М. И. Михайлов*
канд. техн. наук, доц. *Ю. В. Крышнев*
д-р техн. наук, проф. *Н. В. Грунтович*
канд. техн. наук, доц. *О. Г. Широков*
канд. физ.-мат. наук, доц. *А. А. Бойко*

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

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

C56 **Современные** проблемы машиноведения : тез. докл. IX Междунар.
науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель,
25–26 окт. 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн.
ун-т им. П. О. Сухого, ОАО «ОКБ Сухого» ; под общ. ред. С. И. Тимо-
шина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 157 с.

ISBN 978-985-535-098-0.

Представлены новейшие результаты научных исследований в области
динамики, прочности и надежности машин; материаловедения и технологии
обработки материалов; моделирования процессов, автоматизации конструи-
рования и проектирования машин; приборов и систем автоматического
управления; вибродиагностики и энергосберегающих технологий.

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

УДК 621.01(043.2)

ББК 34.4

ISBN 978-985-535-098-0

© Оформление. Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Шенец Л. В.</i> Энергосбережение – приоритет государственной политики Республики Беларусь	9
----------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Секция А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

<i>Склезнев А. А.</i> Влияние технологических отверстий на собственные частоты колебаний сетчатых композитных конструкций летательных аппаратов	14
<i>Боронко О. А., Ходаковский А. А.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния узла соединения «горячего» коллектора с патрубком парогенератора ПГВ-1000 при сейсмическом воздействии	15
<i>Бабенко А. Е., Лавренко Я. И.</i> Влияние гироскопических эффектов на вибрации лабораторных центрифуг	16
<i>Грабовский А. П., Бондарец А. А.</i> Эффективные свойства конструкционных материалов	17
<i>Бабенко А. Е., Боронко О. А.</i> Влияние собственных частот и форм колебаний дисковой пилы на ее динамическую неустойчивость	18
<i>Бобырь Н. И., Коваль В. В.</i> Метод прогнозирования ресурса элементов конструкций при сложном малоцикловом нагружении	19
<i>Цыбенко А. С., Конюхов А. С., Коваль В. П.</i> Исследование динамики сброса головного обтекателя	20
<i>Чечулин Е. С.</i> Обоснование технических решений по снижению уровня колебаний виляния кузовов пассажирских вагонов	21
<i>Кобищанов В. В., Антипин Д. Я., Шорохов С. Г.</i> Оценка динамических характеристик электропоезда постоянного тока на тележках с пневмоподвешиванием	22
<i>Кузнецова М. Г.</i> Демпфирование колебаний жидкости в транспортных резервуарах с перегородками	23
<i>Михневич А. В., Стасенко Д. Л.</i> Исследование динамики плоских золотниковых гидрораспределителей при их форсировании по давлению	24
<i>Тариков Г. П., Бельский А. Т., Комраков В. В., Кирпиченко Ю. Е.</i> Определение скорости скольжения в кулачковой паре	25
<i>Тариков Г. П., Бельский А. Т., Комраков В. В., Акулова Е. М.</i> Исследование напряженного состояния магистрального трубопровода при наличии коррозионных повреждений с учетом упругопластических деформаций	27
<i>Кирпиченко Ю. Е., Тариков Г. П., Комраков В. В., Бельский А. Т.</i> Модернизация узла нагружения машин трения	28
<i>Лаевский Д. В.</i> Течение жидкости в дросселирующих канавках гидрораспределителя с улучшенными характеристиками	29
<i>Лаевский Д. В., Стасенко Д. Л.</i> Моделирование процесса течения жидкости в проточной части гидрораспределителя	30
<i>Врублевская В. И., Врублевская В. В.</i> Износостойкие узлы трения, работающие в абразивных средах	31

Секция Б. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

<i>Василькив В. В.</i> Показатель технологичности изготовления винтовых заготовок методом гибки полосы на ребро	33
<i>Гожий С. П.</i> Новые эффективные схемы комбинированного формообразования на основе штамповки с обкатыванием и оборудование для их реализации	34

<i>Дудецкая Л. Р., Глушаков А. Н.</i> Исследование новой цементуемой стали для тяжело нагруженных зубчатых колес трактора «Беларус»	35
<i>Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Сенчуров Е. В., Шабуня В. В.</i> Технологическое обеспечение снижения отказов крутильно-мотальных механизмов текстильных машин	36
<i>Ласковнев А. П., Изобелло А. Ю., Данильчик И. К.</i> Разработка технологии точной штамповки поковки шатуна двигателя внутреннего сгорания	38
<i>Киселев М. Г., Дроздов А. В., Москаленко А. В., Богдан П. С.</i> Характеристики процесса электроконтактной обработки проволочного инструмента	39
<i>Докудовский Ю. Н., Бабаньков П. В.</i> Освоение конструкционных марок сталей для автомобильной промышленности на ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»	40
<i>Товстелева А. И., Венгура А. В.</i> Выбор деоксиданта для раскисления окалины внутренней поверхности гильзы при производстве труб в условиях ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»	41
<i>Кишкевич Д. С., Авдеев С. В.</i> Анализ причин низкой стойкости прошивных оправок	42
<i>Левицкий Д. И., Лапшин И. А.</i> Вопросы переработки отходов промышленных предприятий Украины, Беларуси, России	43
<i>Остриков О. М., Шматок Е. В.</i> Особенности пластической деформации и разрушения магнитных монокристаллов Ni_2MnGa с памятью формы в процессе формирования на их поверхности отпечатка пирамиды Виккерса	44
<i>Остриков О. М., Савченко О. В.</i> Особенности двойникового монокристаллов висмута при локальном дозированном деформировании поверхности (111) индентором Виккерса при нагрузках выше 1,0 Н	45
<i>Иноземцева Н. В., Лискович М. И.</i> Определение температуры в зоне деформации при плакировании обратным выдавливанием	46
<i>Авсейков С. В., Верещагин М. Н., Бобарикин Ю. Л.</i> Численный анализ напряженно-деформированного состояния свивки металлокорда	47
<i>Панкратов И. А., Степанкин И. Н.</i> К вопросу оценки модуля упругости модифицированных слоев легированных сталей методом атомно-силовой микроскопии	49
<i>Степанкин И. Н., Поздняков Е. П.</i> К вопросу исследования контактной усталости быстрорежущей стали Р6М5	50
<i>Степанкин И. Н., Кенько В. М.</i> Функциональное упрочнение штампового инструмента из быстрорежущей стали	51
<i>Ткаченко А. В., Бобарикин Ю. Л.</i> Расчет деформационных параметров и номинальных размеров трубы для переходов трехвалковой непрерывной раскатки	52
<i>Щербаков С. А.</i> Способ и устройство для изготовления внутреннего винтового профиля	53
<i>Дмитриченко Э. И., Кульгейко Г. С.</i> Влияние процессов шунтирования технологического тока при магнитно-электрическом упрочнении	54
<i>Кульгейко М. П., Дмитриченко Е. Э.</i> Условия контактирования ограничителей рабочего зазора с обработанной поверхностью при магнитно-абразивном полировании	55
<i>Грудина Н. В., Юркевич О. Р.</i> Антифрикционные композиционные материалы на основе термопластичных полимеров	56
<i>Пискунов С. В., Злотников И. И.</i> Получение черных светопоглощающих оксидно-керамических покрытий на алюминиевых сплавах с помощью микродугового оксидирования	57
<i>Шукова Е. В., Царенко И. В.</i> Процессы разделения фаз в системах «полиэтилен – стеарин»	58

<i>Петришин Г. В., Пантелеенко Е. Ф.</i> Повышение срока службы шнеков подачи топлива котлоагрегата электродуговой наплавкой.....	60
<i>Быстренков В. М., Демиденко Е. Н., Козлов Н. Н.</i> Новые борированные материалы для магнитно-абразивной обработки	61
<i>Шинелева М. С.</i> Коэффициенты потенциометрической селективности как основная характеристика мембраны ионоселективных электродов.....	62
<i>Купреев М. П., Леонович Е. Н.</i> Разработка и исследование режимов изготовления шлифовального инструмента из легированного электрокорунда на легкоплавкой керамической связке	64
<i>Ахметов Т. А.</i> Разработка и использование композиционных материалов на основе ПТФЭ в узлах трения канатных машин.....	65
<i>Борисенко Л. А., Комар В. Л.</i> Типовой ряд малогабаритных передаточных механизмов для мехатронных систем	67
<i>Верещагин М. Н., Кирилюк С. И.</i> Исследование особенностей измельчения быстрозакаленной ленты аморфизирующегося сплава в планетарной мельнице	68
<i>Лискович М. И., Иноземцева Н. В.</i> Исследование возможности использования уравнений для расчета давления прессования при создании покрытия, получаемого совместной вытяжкой	69

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

<i>Лукин Р. С., Усаков В. И.</i> Проектирование волновой передачи, работающей в высоком вакууме	70
<i>Каменецкий Б. С., Колбасина Н. А.</i> Определение собственных частот рабочего органа измельчителя	71
<i>Литвин А. В.</i> Изменение силовых характеристик цангового патрона при закреплении заготовок различного диаметра.....	72
<i>Шевченко А. В.</i> Влияние ориентации главных осей жесткости упругой системы инструмента на устойчивость при токарной обработке	73
<i>Локтионов А. В.</i> Методология расчета кинематических углов резцов исполнительных механизмов	74
<i>Можаровский В. В., Марьина Н. А.</i> Исследование контактного взаимодействия с учетом анизотропии термомеханических параметров.....	75
<i>Соломахо Д. В.</i> Критерии адекватности метрологических моделей при координатном контроле геометрических параметров деталей.....	77
<i>Лустенков М. Е., Фитцова Е. С.</i> Шариковая передача с изменяемым углом перекрещивания осей валов	78
<i>Рудак П. В., Куис Д. В., Рудак О. Г.</i> Математическое моделирование процесса выхода стружки из зоны резания плитных древесных материалов	79
<i>Целуев М. Ю.</i> Моделирование температурных полей в дисках маслоохлаждаемого тормоза	80
<i>Комнатный Д. В.</i> Сравнительный анализ конструкций хронометрических колебательных систем с перекатывающимся шариком.....	81
<i>Шабловский О. Н., Концевой И. А.</i> Вынужденные колебания нелинейного теплового резонатора	82
<i>Шабловский О. Н., Кроль Д. Г.</i> Вынужденные тепловые колебания в нелинейной системе «материал – источник энергии»	83
<i>Андреев С. Ф.</i> Моделирование геометрически нелинейной задачи концентрации напряжений	85

<i>Курочка К. С., Роговцова О. В.</i> Треугольный конечный элемент в декартовой системе координат при моделировании плоского напряженно-деформированного состояния.....	86
<i>Петухов А. В.</i> Методика создания интегрированных систем конструкторско-технологического проектирования.....	87
<i>Иноземцева Е. В.</i> Реологические свойства композиций на основе низкоплавких полиэфирных смол.....	88
<i>Михайлов М. И., Ромачков А. Н.</i> Анализ точности многоцелевого станка.....	89
<i>Михайлов М. И., Богацкий В. Д.</i> Исследование влияния точности режущих элементов червячных фрез на кинематическую образующую зубьев зубчатых колес.....	90
<i>Попов В. Б.</i> Формализованное описание режимов работы подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств.....	91
<i>Попов В. Б.</i> Выбор методов параметрической оптимизации подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств.....	93
<i>Мурашко В. С.</i> Автоматизированное построение нормативной зависимости затрат времени на перемещение деталей.....	94
<i>Ткачев Д. В., Столяров А. И., Селютин А. М., Ткачев В. М.</i> Моделирование кавитационных процессов в гидродинамических пульсаторах для нефтегазовой отрасли.....	95
<i>Храбров Д. Е., Мурашко И. А.</i> Методика проектирования генераторов псевдослучайных последовательностей на основании клеточных автоматов с циклическими граничными условиями.....	96
<i>Рудченко Ю. А.</i> Аппроксимация механической характеристики асинхронного двигателя.....	97
<i>Миренков В. В., Хиженок В. Ф.</i> Оптимизация качественной характеристики воздушного потока турбинного вентилятора очистки зерноуборочного комбайна.....	98
<i>Родзевич П. Е., Миренков В. В., Хиженок В. Ф.</i> Анализ нагруженности режущих элементов измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна.....	99
<i>Царенко И. В., Процкая М. А., Ходьков Е. Н., Банный В. А.</i> Механико-прочностные характеристики и конфигурация трещины керна при моделировании динамических исследований.....	100
<i>Спасенников В. В.</i> Перспективные направления автоматизации проектирования человеко-машинных комплексов.....	101

Секция Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

<i>Скачек А. В., Скачек В. А., Соломахо В. Л., Петрусенко П. А.</i> Оптимизация конструкции тензорезистивных датчиков силы.....	104
<i>Фаняев И. А., Кудин В. П.</i> Распределительная матрица для питания восьмиэлементной антенной решетки.....	105
<i>Соленков В. В., Брель В. В.</i> Асинхронный фазовый расщепитель.....	106
<i>Дорощенко И. В., Захаренко В. С., Погуляев М. Н.</i> Динамика инвариантного испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада.....	107
<i>Зализный Д. И., Широков О. Г., Широков Г. О.</i> Прибор контроля и расчета температур основных элементов силового масляного трансформатора.....	108
<i>Зализный Д. И., Прохоренко С. Н.</i> Методика передачи данных по экрану силового кабеля.....	109
<i>Козлов А. В., Савельев В. А., Толстенков А. А.</i> Автономная система ориентации солнечных элементов питания по положению источников света.....	110
<i>Мизгайлов В. Н.</i> Явление уменьшения отражательной способности синтезированной радиоголограммы.....	111

<i>Карпов В. А., Ковалев А. В., Литвинов Д. А., Хананов В. А., Карпов А. В.</i> Повышение температурной стабильности измерительных преобразователей с датчиками Холла	112
<i>Карпов В. А., Ковалев А. В., Литвинов Д. А., Хананов В. А., Карпов А. В.</i> Повышение точностных характеристик бытовых газовых счетчиков	113
<i>Козусев Ю. А.</i> Метод измерения постоянной времени	114
<i>Виноградов Э. М., Крышнев Ю. В., Сахарук А. В., Столбов М. В.</i> Проектирование электрического фильтра для приемных модулей внутритрубного герметизатора	115
<i>Якавец У. Д., Крышнеў Ю. В., Кухарэнка С. М., Сталбоў М. В., Сахарук А. У.</i> Клапан з электрапрывадам для кіруемага ўнутрытрубнага герметызатара	117
<i>Кухаренко С. Н., Лукашов В. М.</i> Синтез корректирующих цепей в преобразовательной технике и силовой электронике	118
<i>Захаренко Л. А., Лукашов В. М., Головки И. Н.</i> Разработка и реализация научно-технических мероприятий по автоматизации литейной машины ПЛ-71	119
<i>Михалевич Д. П., Козусев Ю. А., Виноградов Э. М.</i> Кольцевой феррозонд для бесконтактного измерителя постоянного тока	120
<i>Старостенко В. О., Гарбуз В. Н., Храбров Е. А.</i> Организация канала связи с кодовым разделением для обмена информацией с внутритрубными устройствами	122
<i>Гарбуз В. Н., Старостенко В. О.</i> Сравнительный анализ различных аппаратных реализаций корреляционного способа приема псевдослучайных последовательностей	123
<i>Изотов П. П.</i> Результаты исследования преобразователя напряжение – частота. Влияние на погрешность расчета ПНЧ быстрого действия компаратора	124
<i>Вяхирев Н. И., Щуплов В. В.</i> Прием цифрового телевидения	126
<i>Кутень А. А., Вяхирев Н. И.</i> Электродинамическое моделирование щелевых антенн	127

Секция Д. ВИБРОДИАГНОСТИКА, ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

<i>Каменецкий Б. С., Щепин А. Н., Лимаренко Г. Н.</i> Вибродиагностика измельчителя на основе оригинальной зубчатой передачи	129
<i>Инишеков Е. Н., Калинин И. В.</i> Модель эффективного управления режимами электропотребления промышленных предприятий	130
<i>Инишеков Е. Н., Розен В. П., Чернявский А. В.</i> Оценка эффективности функционирования системы энергетического менеджмента	131
<i>Соловей Н. Ф., Короткевич С. В., Холодилов О. В.</i> Исследование триботехнических характеристик гидравлических масел	132
<i>Кашин Ю. А., Жадан М. И., Березовская Е. М., Кашина Р. Е.</i> Экстремальные режимы работы ветряной мельницы типа НЕЖ	133
<i>Селиверстов Г. И., Марцелев Д. О.</i> Оценка эффективности перевода с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ участка Гомельской городской кабельной сети с РП-12 с учетом изменения режимов ее нейтрали	134
<i>Грунтович Н. В., Колесников П. М.</i> Вибродиагностирование силовых трансформаторов	135
<i>Галушко В. Н.</i> Определение показателей надежности электрических систем при воздействии различных факторов	136
<i>Алферова Т. В., Галушко В. Н.</i> Моделирование электрических систем	137
<i>Алферов А. А.</i> Оценка изменения температуры ПВХ изоляции кабельной линии при наличии высших гармоник в питающем напряжении	138
<i>Волкова Е. Н., Якимченко В. Г., Родин А. В.</i> Исследование процесса теплообмена при парообразовании озонобезопасных хладагентов на гладких поверхностях	139

<i>Грунтович Н. В., Грунтович Н. В.</i> Методологические принципы управления старением электрических машин.....	140
<i>Елкин В. Д.</i> Современная возможность энергосбережения в наружном освещении.....	141
<i>Овсянник А. В., Трошев Д. С.</i> Анализ энергетической эффективности теплонасосных установок в системах индивидуального теплоснабжения.....	142
<i>Грунтович Н. В., Гуминский А. Н.</i> Особенности реализации объектов «малой генерации» на предприятиях	143
<i>Наумова Т. С., Сидоренко С. С.</i> Методика экспериментального исследования теплообмена при парообразовании озонобезопасных хладагентов	144
<i>Головач О. М.</i> О возможности сооружения тепловой электростанции на бурых углях в Полесском регионе.....	145
<i>Алферова Т. В., Бахмутская В. В., Полозова О. А.</i> Применение турбостанций в качестве источника тепла на пунктах понижения давления газа	146
<i>Дробов А. В.</i> О системном подходе при определении для субъектов хозяйствования мероприятий по энергосбережению	147
<i>Иванейчик А. В.</i> Моделирование и определение наиболее эффективных электрических нагрузок потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками электропотребления.....	148
<i>Колесник Ю. Н., Иванейчик А. В.</i> Современные подходы оценки эффективности электропотребления и энергозатрат промышленных потребителей.....	149
<i>Колесник Ю. Н., Беляй А. Н.</i> Автоматизированная расчетно-справочная система для оценки эффективности и выбора энергосберегающего оборудования.....	151
<i>Ус А. Г., Бахур С. И.</i> Программа для ЭВМ комплексного снижения потерь электроэнергии в системах внутреннего электроснабжения промышленных предприятий.....	152
<i>Шенец Е. Л.</i> Способы повышения эффективности управления потреблением энергоресурсов	153
<i>Микулович В. И., Шнитко С. Ф., Петров И. В.</i> Многофункциональный сборщик данных МСД-2010	154
<i>Кравченко А. И., Савкова Т. Н.</i> Современные источники света как средство повышения энергоэффективности осветительных установок промышленных предприятий.....	155
<i>Петров И. В.</i> Вибродиагностирование электрических машин в условиях неопределенности.....	156
<i>Голубцов Н. В., Федоров О. В.</i> Научно-прикладные возможности развития профессорско-преподавательским составом вуза теории и практики энергосбережения.....	157

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621.314

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ПРИОРИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Л. В. Шенец

*начальник управления по энергосбережению и контролю
за использованием газа ОАО «БЕЛТРАНСГАЗ», г. Минск,
Республика Беларусь*

В Беларуси нет в достаточном количестве собственных топливно-энергетических ресурсов. Однако опыт таких стран, как Швейцария, Дания, Япония и других, показывает, что экономика может динамично развиваться за счет внедрения берегающих мероприятий, освоения передовых технологий, снижения издержек производства. В течение последних лет в нашей стране значительно активизировалась работа в сфере энергосбережения и оптимизации топливно-энергетического баланса.

Проделана большая работа по совершенствованию нормативно-правовой базы – принято более 100 документов. Наиболее значимым в области законотворческой деятельности было принятие Директивы Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства», которая значительно активизировала работы в сфере энергосбережения. В рамках реализации программы энергосбережения проводилась активная работа по пропаганде рационального использования ТЭР.

Реализацией республиканской программы энергосбережения на период 2006–2010 гг. необходимо было обеспечить снижение энергоемкости по отношению к уровню 2005 г. не менее чем на 31 % при темпах роста ВВП 156 %. Итоги работы за периоды 2001–2005 и 2006–2010 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Итоги и задачи в области энергосбережения

Показатели	Годы	Задание	Факт
Снижение энергоемкости ВВП, %	2001–2005	20–25	25,1
	2006–2010	26–30,4	25,3
ВВП, %	2001–2005	135–140	143,4
	2006–2010	146–155	141,9
Доля МВТ в КПТ, %	2001–2005	20,5	20,7
	2006–2010		
Экономия ТЭР, млн т у. т.	2001–2005	5,53–7,17	6,1
	2006–2010	7,55	7,77

Анализируя результаты работы за последние годы, можно отметить, что в Республике Беларусь при темпах роста ВВП за период 1997–2011 гг. более 250 % потребления топливно-энергетических ресурсов осталось практически на прежнем уровне, снижение энергоемкости за это время составило почти 57 % (рис. 1).

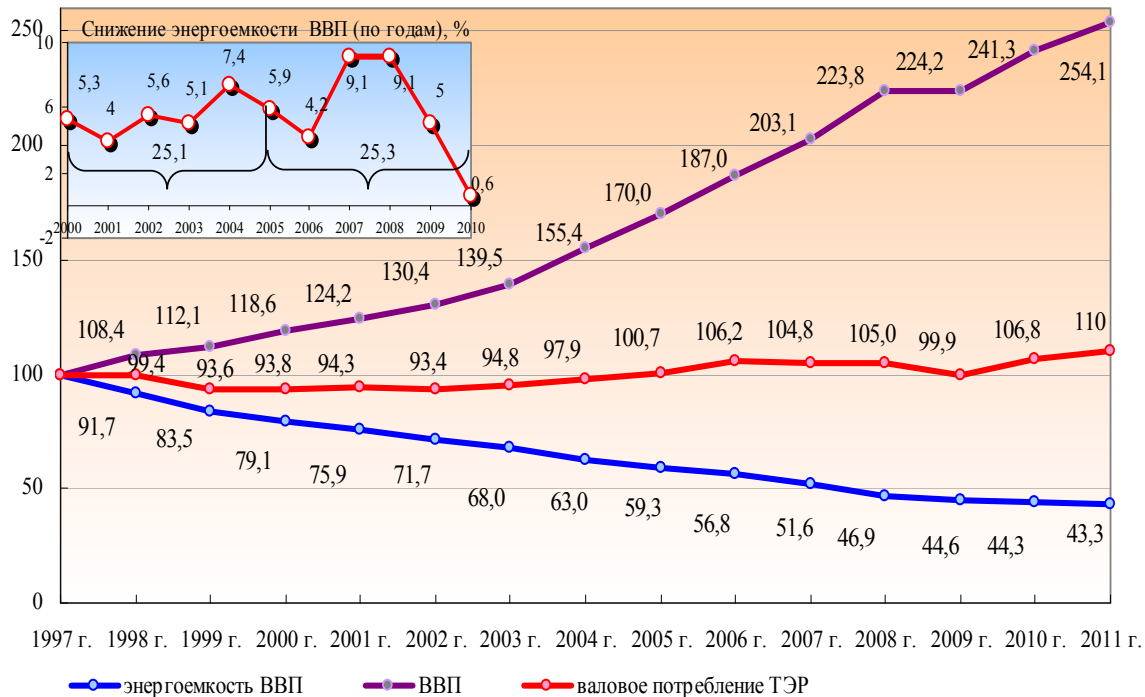


Рис. 1. Изменение ВВП, валового потребления ТЭР и энергоёмкости ВВП к уровню 1997 г. (%)

За прошедшие годы республика достигла довольно высоких темпов роста валового внутреннего продукта. Создан прочный фундамент, который позволяет стране энергично и эффективно развиваться. Время показало, что своевременно приняты правильные решения и потому достигнуты немалые результаты. Предпосылки для будущего наращивания производства без значительного роста потребления ТЭР создаются в первую очередь за счет реализации высокоэффективных мероприятий.

Чтобы сделать отечественные предприятия по-настоящему современными с энергетической точки зрения, ведется реконструкция котельных с переводом их в электростанции на основе внедрения когенерационного оборудования – газопоршневых, газотурбинных и парогазовых установок, обеспечивающих выработку электрической энергии с удельным расходом удельного топлива 150–170 г/кВт · ч.

Во всех отраслях экономики внедряются энергоэффективные технологические процессы производства продукции, позволяющие значительно снизить удельный расход энергоресурсов на выпуск единицы продукции. Ведется утилизация тепловых и горючих вторичных энергоресурсов, прежде всего в организациях нефтехимической отрасли, для последующего их использования в технологических процессах и для производства энергии, что позволяет значительно снизить долю энергоресурсов в себестоимости товаров. Оптимизируются схемы теплоснабжения и передачи тепловых нагрузок от ведомственных котельных на ТЭЦ для увеличения объема выработки электроэнергии. Проводится децентрализация теплоснабжения в сельской местности с ликвидацией длинных трасс и установкой локальных теплоисточников, что позволит исключить потери.

Анализ энергоёмкости ВВП 2009 г. в мире, по данным Международного энергетического агентства, подтверждает, что Республика Беларусь обеспечила ее снижение почти в 2,7 раз, Россия в 1,38 раз, Украина – 1,38 раз (рис. 2).

	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	1990/2009
Беларусь	0,78	0,70	0,51	0,39	0,38	0,34	0,31	0,29	2,69
Россия	0,58	0,66	0,60	0,47	0,46	0,42	0,42	0,42	1,38
Украина	0,55	0,75	0,64	0,50	0,45	0,41	0,40	0,40	1,38
Австрия	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	1,17
Канада	0,32	0,33	0,29	0,27	0,27	0,26	0,25	0,25	1,28
США	0,27	0,26	0,24	0,21	0,21	0,20	0,19	0,19	1,44
Финляндия	0,26	0,28	0,24	0,23	0,24	0,22	0,21	0,22	1,19
Франция	0,18	0,18	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	1,18
Швеция	0,24	0,25	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	1,49
Япония	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	1,11
Норвегия	0,19		0,22	0,18	0,14	0,14	0,15	0,15	1,27

Рис. 2. Показатели энергоёмкости ВВП 2009 г. в мире
(в ценах 2000 г. по ППС)

Несмотря на высокое снижение энергоёмкости за этот промежуток времени, мы значительно уступаем таким странам, как Германия, Япония, Швеция, где энергоёмкость составляет 140 и 160 кг н. э., нам есть над чем работать, т. е. повышать эффективность нашей экономики.

В целях дальнейшего развития технического потенциала разработана Государственная программа развития Белорусской энергетической системы на период до 2016 г. (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29.02.2012 г., № 194), реализация которой позволит:

- ввести 2241 МВт высокоэффективных и вывести 1820 МВт неэффективных мощностей;

- получить экономию ТЭР в ГПО «Белэнерго» (за период реализации Государственной программы) – 1265 тыс. т у. т.;

- снизить удельный расход условного топлива на производство электроэнергии в ГПО «Белэнерго» на 25–30 г у. т./кВт · ч (по отношению к 2010 г.);

- уменьшить объем использования природного газа в ГПО «Белэнерго» до 1426,5 тыс. т у. т. (1,26 млрд м³);

- снизить технологический расход тепловой энергии на ее передачу в магистральных и распределительных тепловых сетях на 2 процентных пункта (по отношению к уровню 2010 г.);

- снизить технологический расход электрической энергии на ее передачу в электрических сетях на 2 процентных пункта (по отношению к уровню 2010 г.).

На рис. 3 представлены основные технико-экономические показатели работы Белорусской энергосистемы.

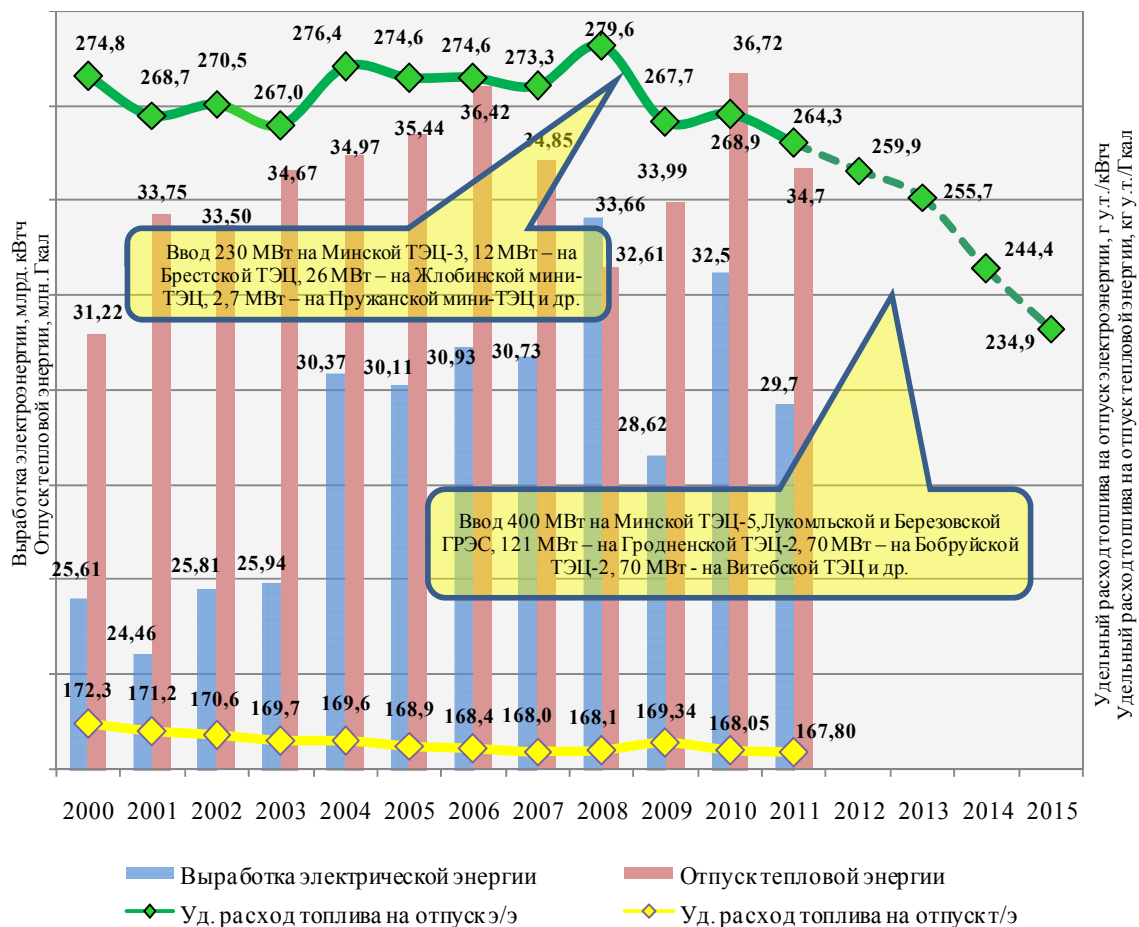


Рис. 3. Основные технико-экономические показатели работы Белорусской энергосистемы

Программа социально-экономического развития на период 2011–2015 гг. определяет напряженные задачи, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Задачи в области энергосбережения на 2011–2015 гг.

Показатели	Задачи на 2011–2015 гг.	Задание на 2012 г.
Снижение энергоемкости ВВП, %	29–32	3–4
ВВП, %	162–168	105–105,5
Доля МВТ в КПТ, %	30	25
Экономия ТЭР, млн т у. т.	7,1–8,9	1,42–1,65

Для выполнения установленных заданий в Республике Беларусь определены меры, направленные на выполнение установленных показателей:

- Установлены показатели по энергосбережению (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2011 г., № 1779).

- Разработаны и реализуются отраслевые и региональные программы энергосбережения.
- Установлены показатели по снижению потребления светлых нефтепродуктов (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2011 г., № 1776).
- Установлено задание по снижению потребления электроэнергии и природного газа промышленным организациям – крупным потребителям топливно-энергетических ресурсов (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2011 г., № 1777).
- Утвержден Комплекс мер по снижению энергоемкости ВВП в 2012–2015 гг.
- Утверждены прогрессивные удельные нормы расхода топливно-энергетических ресурсов.
- Утверждены сетевые графики по строительству в 2012 г. энергоисточников, работающих на МВТ, и реализации крупных энергоэффективных проектов.

СЕКЦИЯ А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 534-16

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ НА СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СЕТЧАТЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. А. Склезнев

*ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический
университет имени К. Э. Циолковского» (МАТИ), г. Москва*

Сетчатые композитные конструкции, разработанные в Центральном научно-исследовательском институте специального машиностроения (ЦНИИСМ) около 30 лет назад [1], состоящие из семейств спиральных, кольцевых и продольных ребер, образованных методом непрерывной намотки, обладают широким спектром конструктивных достоинств, из которых наиболее важными являются: высокое весовое совершенство и сравнительно невысокая стоимость изготовления, по отношению к традиционным металлическим или композитным конструкциям типа подкрепленных оболочек или слоистых структур. Кроме этого, сетчатые композитные конструкции имеют высокую несущую способность и жесткость. Наметившиеся в последние годы в мировом авиапроме тенденции ко все большему использованию композитных материалов в конструкции планера и других элементов самолетов приводят к необходимости применять инновационные структуры взамен использовавшихся до недавнего времени.

За последние пятнадцать лет сетчатые композитные конструкции широко использовались в качестве корпусов космических аппаратов [2], однако их использование в качестве элементов гражданских летательных аппаратов еще недостаточно широко. Специфической особенностью фюзеляжей самолетов является наличие технологических отверстий в конструкции: окон, дверей и т. п. Однако влияние таких вырезов на динамическое поведение сетчатых композитных конструкций, величины продольных и поперечных собственных частот мало исследовано, чему и посвящена настоящая работа.

Исследования проводятся методом конечных элементов, так как использование континуальных моделей при наличии вырезов в регулярном семействе ребер не представляется возможным. Рассматриваются влияние размера, расположения и количества отверстий на продольные и осевые собственные частоты фюзеляжа летательного аппарата в виде цилиндрической сетчатой оболочки. Проводится анализ полученных результатов и построены зависимости, пригодные для использования при проектировании новых сетчатых композитных конструкций.

Л и т е р а т у р а

1. Vasiliev V, Barynin V and Razin F. Anisogrid lattice structures – survey of development and application. *Composite Structures*, 54, P. 361–370, 2001.
2. Vasiliev V, Razin A, Totaro G and De Nicolau F. Anisogrid conical adapters for commercial space application. *Proc. of the 13-th AIAA/CIRA Int. Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conf.*, Capua, Italy, 2005.

УДК 539.4.014

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ «ГОРЯЧЕГО» КОЛЛЕКТОРА
С ПАТРУБКОМ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000
ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

О. А. Боронко, А. А. Ходаковский

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

В процессе эксплуатации парогенераторов ПГВ-1000 (ПГ) на действующих АЭС были обнаружены повреждения в узлах соединения «горячего» коллектора с патрубком парогенератора (ПГ). В данной работе представлены результаты расчета НДС в области сварного шва (СШ) № 111 при моделировании сейсмического нагружения, заданного в виде спектров отклика вертикальных и горизонтальных колебаний. Расчет сейсмических напряжений выполнен на основе линейно-спектрального анализа с использованием трехмерной конечноэлементной модели реакторной установки (РУ) малой серии ВВЭР-1000/338 (рис. 1).

При расчете сейсмостойкости РУ ВВЭР моделировали стационарные опоры. В качестве основной опоры КР принимали опорный бурт, который исключает перемещения КР в горизонтальном и вертикальном направлениях. Вертикальные опоры, воспринимающие вес ПГ, представляют собой конструкцию с роликами, которые не препятствуют перемещению ПГ в продольном и поперечном направлениях, при температурном расширении главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ). Для ограничения смещений ПГ при динамическом нагружении применяются гидроамортизаторы (ГА). При данном расчете РУ на сейсмические воздействия ГА моделировали с жесткими опорами, которые ограничивали перемещения ПГ в горизонтальной плоскости.

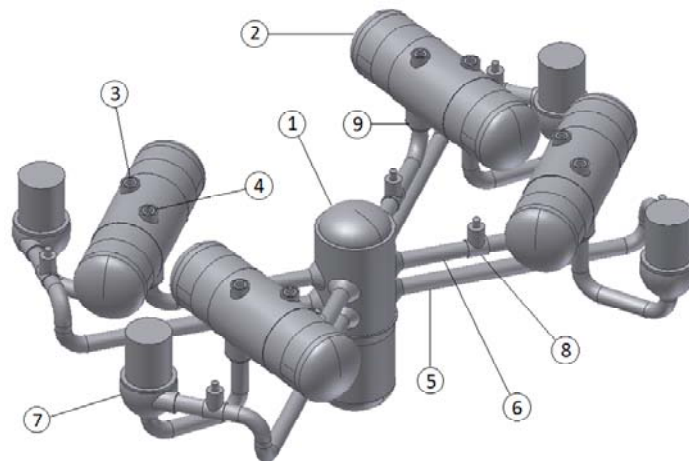


Рис. 1. Расчетная модель РУ ВВЭР-1000/338:

- 1 – КР; 2 – ПГ; 3 – «холодный» коллектор ПГ; 4 – «горячий» коллектор ПГ;
5 – «холодная» нитка ГЦТ; 6 – «горячая» нитка ГЦТ; 7 – ГЦН;
8 – ГЗЗ; 9 – узел с СШ № 111-1

Главный циркуляционный насос (ГЦН) опирается на роликовые опоры, которые позволяют перемещаться конструкции при температурном расширении ГЦТ. При проведении расчета РУ на сейсмические воздействия моделировали кинематические условия, при которых ГЦН закрепляли от вертикальных и горизонтальных перемещений.

При проведении расчетов РУ на сейсмические воздействия использовали квадратичные конечные элементы в форме шестигранных призм.

Расчет сейсмических напряжений в элементах РУ ВВЭР-1000 проведен при отнормальном демпфировании 2 % и сейсмичности площадки 6 баллов.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА ВИБРАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЦЕНТРИФУГ

А. Е. Бабенко, Я. И. Лавренко

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

В быстроходных машинах гироскопические эффекты имеют существенное влияние. Широким классом гироскопических систем являются роторы высокоскоростных ультрацентрифуг, которые имеют гибкий вал на упругих опорах со сосредоточенными массами. Ультрацентрифуги обычно обеспечены сменным комплектом роторов с разными массами и моментами инерции, диапазон их рабочих скоростей достаточно широкий (например, от 0 до 75000 об./мин), поэтому при определенных условиях указанные факторы влияют на колебания подобных систем. Общая теория изгибных колебаний вертикальных роторов в поле сил тяжести рассмотрена в работах Зейтмана и Кушуля.

С увеличением угловых скоростей упругие деформации оси ротора гироскопа могут заметно влиять на его ось. Одна из первых работ, посвященная динамике гироскопа с упругой осью, принадлежит Магнусу. Позже колебания свободного гироскопа с упругим валом исследовались Маундером и Уиппелом. Стойкость движения гироскопа с учетом упругих свойств оси ротора рассматривалась Крементуло.

Главная сложность исследования вибраций вертикальных роторов возникает благодаря продольному изгибу вала ротора силами, направление которых изменяется вместе с изменением формы упругой линии.

В механических системах, которые включают в себя тела, которые вращаются, в той или иной мере возникают вибрации. В зависимости от количества тел, которые вращаются, система может иметь разное количество степеней свободы и разное количество собственных частот. Движение механической системы, в которой ротор размещен посередине подшипниковых узлов, рассмотрено достаточно широко Гусаровим и Нестеренком.

Простейшими детально проанализированными задачами есть движение систем, в которых учитывается только перемещения центров масс по отношению оси вращения. В отличие от указанных работ, в данной работе рассматриваются эффекты, которые связаны не только с силами обусловленными перемещениями центра масс сосредоточенных масс, а и с угловыми поворотами сечений, в которых находятся массы. Учет углов поворота вдвое увеличивает количество степеней свободы и, соответственно, количество собственных частот колебаний и влияние на них гироскопических сил. Особенностью колебаний таких валов есть то, что прогиб сечения ва-

ла, где прикреплен диск, сопровождается поворотом сечения, поэтому отклонение центра масс сопровождается поворотом плоскости диска и, соответственно, одновременно происходит прецессия центра масс и угловая прецессия диска.

Если скорость вращения вала и моменты инерции насажденных на него дисков относительно небольшие, то частоты собственных колебаний вала практически совпадают с собственными частотами вала, который не вращается.

Теоретические результаты были сопоставлены с экспериментальными. Сопоставление показало достаточно хорошую корреляцию с экспериментальными исследованиями лабораторной центрифуги РІСО 21.

УДК 539.4+620.1

ЭФФЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. П. Грабовский, А. А. Бондарец

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Деформирование материала, которое создается температурно-силовыми воздействиями, сопровождается глубокими изменениями его структуры в связи с разрыхлением – образованием разрывов в субмикро- и микрообъемах, выделением новых фаз, образованием текстуры, химическими и физическими флуктуациями и т. д. Явление разрыхления материала приводит к деградации физико-механических свойств материала – плотности, электропроводности, магнитных свойств, удельного веса, модулей упругости при осевом нагружении – E и сдвиге – G и т. д.

В работе рассматриваются вопросы кинетики накопления повреждений в конструкционных материалах при упруго-пластическом деформировании от начала приложения нагрузки до разрушения образцов из сплава алюминия Д16Т, сплавов сталей 12Х18Н10Т, 07Х16Н6 и стали 45 по изменению в них удельного электрического сопротивления, модулей упругости – E и G при осевом нагружении, сдвиге и пропорциональном деформировании (осевое нагружение – кручение).

В работе получены и обоснованы модели кинетики накопления повреждений, которые оцениваются величинами осевых и угловых относительных остаточных деформаций при упругопластическом деформировании и физико-механическими свойствами конструкционных материалов. Предложены тензоры и девиаторы тензоров поврежденности – D_{ij} и функции поврежденности $1/(1 - D_{ij})$, которые трансформируются величиной упругопластических осевых и угловых деформаций и характеризуют изменение объема и формы материала при линейном, плоском и объемном напряженных состояниях.

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

где D_{σ} и D_{τ} – параметры поврежденности, соответственно, от осевого нагружения и сдвига. ε_i , ε_R – соответственно, относительные величины текущей относительной деформации и относительной деформации в момент разрушения. γ_i и γ_R – соответственно, величины текущей относительной сдвиговой деформации и относительной сдвиговой деформации в момент разрушения.

Коэффициенты, характеризующие глубину изменения модулей упругости при упругопластических осевых и сдвиговых упругопластических деформациях:

$$\varphi_{\sigma} = (E_0 - \tilde{E}_R)/E_0, \quad \varphi_{\tau} = (G_0 - \tilde{G}_R)/G_0,$$

где E_0 , G_0 , \tilde{E}_R и \tilde{G}_R – соответственно, первоначальные и граничные значения модулей упругости, α и β – параметрические коэффициенты, которые характеризуют пластические свойства материалов.

Предложено соотношение для определения интенсивности поврежденности – D_i для объемного напряженного состояния, которое описывается соотношением

$$D_i = \frac{\varepsilon_i}{1 + \varepsilon_i}, \text{ где } \varepsilon_i \text{ – интенсивность деформаций при объемном напряженном состоя-}$$

нии. Используя предложенные соотношения, проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов определения интенсивности повреждений для плоского напряженного состояния на образцах стали 45, 12X18H10T, 07X16H6.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ДИСКОВОЙ ПИЛЫ НА ЕЕ ДИНАМИЧЕСКУЮ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ

А. Е. Бабенко, О. А. Боронко

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

При исследовании поведения дисковой пилы в процессе резания актуальной является проблема, связанная с изучением динамической неустойчивости и, соответственно, с подбором таких параметров пилы и режимов резания, которые позволяют избежать или ослабить вредные воздействия этого явления. Задача о вынужденных колебаниях механической системы может быть решена на основе разложения по собственным формам колебаний. Основная трудность решения заключается в определении спектра собственных частот и форм колебаний дисковой пилы. Для этого был разработан новый метод определения собственных частот и собственных форм колебаний дисковых пил. Разработанный метод квазистатических итераций основан на замене решения задачи на собственные числа последовательностью решения задач при статических нагружениях. Пила рассматривается как кольцевая пластина, жестко заземленная по внутреннему контуру.

В результате проведенных численных расчетов было определено 9 собственных частот и соответствующих им собственных форм колебаний дисковых пил в своей плоскости. Собственные частоты оказались намного выше частот вынуждающих сил, поэтому наибольший интерес вызывают собственные частоты при изгибных колебаниях пилы.

В процессе эксплуатации дисковая пила подвергается перезаточке, в результате чего меняется ее внешний диаметр. Поэтому было рассчитано 39 типоразмеров дисковых пил. Были определены 20 собственных частот и собственных форм колебаний.

Реальные механические колебательные системы как с распределенными, так и с дискретными параметрами являются, по существу, нелинейными динамическими системами, поскольку всегда содержат нелинейные зависимости в закономерностях, определяющих их движение. Для большинства нелинейных систем характерны та-

кие явления, как устойчивые и неустойчивые режимы стационарных колебаний и состояния, соответствующие так называемым «внутренним» резонансам. Возникновение этих режимов приводит к явлениям, которые сопровождаются энергообменом (перераспределением энергии) между различными формами колебаний.

При исследовании колебаний дисковых пил различных геометрических размеров с помощью разработанного метода, который дает возможность определить кратные частоты и соответствующие им формы колебаний, были выявлены явления энергообмена между формами колебаний, которые приводят к неустойчивости работы дисковой пилы. Эти явления наблюдаются при отношении внутреннего и внешнего диаметров пилы $d_0/d = 0,3434$ на первых трех формах колебаний, а также на пятнадцатой, шестнадцатой и семнадцатой при $d_0/d = 0,260$. Таким образом, используя результаты расчета, можно подобрать такие режимы резания и параметры пилы, чтобы движение пилы было устойчивым.

УДК 539.4

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЛОЖНОМ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Н. И. Бобырь, В. В. Коваль

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

На базе основных положений термодинамики необратимых процессов и континуальной механики поврежденности обоснован и описан обобщенный инженерный подход по прогнозированию кинетики накопления рассеянных повреждений в конструкционных материалах ответственных элементов конструкций, которые работают в условиях сложного малоциклового нагружения. В качестве параметра поврежденности выбрана удельная энергия рассеивания и удельная энергия дополнительных напряжений за цикл. Показана корреляция между этими параметрами. Модель поврежденности учитывает два механизма разрушения (отрыв и срез), что делает ее удобной для инженерных расчетов вязкого, хрупкого и вязко-хрупкого типов разрушения.

Разработана методика конкретизации параметров модели для условий растяжения и сдвига. Экспериментально показано, что пороговым значением напряжений, при котором фиксируется накопление рассеянных повреждений, является предел выносливости. Построен целый ряд кинетических диаграмм поврежденности для современных конструкционных материалов для условий статического и циклического нагружения. Обоснована функция влияния вида напряженного состояния на кинетику накопления повреждений. Получен обобщенный критерий разрушения конструкционных материалов на стадии зарождения макротрещины для условий сложного малоциклового нагружения.

Разработанный метод проверен на прогнозировании ресурса по параметру малоциклового усталости ряда конструктивных элементов.

На основе программного комплекса ANSYS, с учетом полученных в результате экспериментов эффективных параметров исследуемых материалов, были получены поля напряженно-деформированного состояния и поврежденности в конструктивных элементах.

В результате комплекса проведенных экспериментов получены эффективные кривые деформирования конструкционных материалов, которые учитывают влияние поврежденности. Для симметричного цикла экспериментально получены величины коэффициента залечивания в условиях мягкого и жесткого нагружения. Построены эффективные циклические кривые деформирования, которые позволяют определить максимальные эффективные напряжения в цикле.

Используя модифицированные подходы Нейбера, И. А. Биргера и Н. А. Махутова, были получены зависимости эффективных коэффициентов упрочнения, а также значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений и деформаций в зависимости от количества полуциклов нагружения, с помощью которых может быть определено уточненное напряженно-деформированное состояние конструктивного элемента с учетом влияния поврежденности.

Показано, что использование эффективной диаграммы деформирования существенно уточняет расчетное значение долговечности на стадии зарождения макротрещины.

УДК 629.764

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СБРОСА ГОЛОВНОГО ОБТЕКАТЕЛЯ

А. С. Цыбенко, А. С. Конюхов, В. П. Коваль

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Головной обтекатель (ГО) ракет-носителей (РН) предназначен для защиты космических аппаратов (КА) от воздействия тепловых и аэродинамических нагрузок на старте и атмосферном участке полета РН, а также при наземной эксплуатации в процессе предполетной подготовки. Повышение функциональной эффективности конструкции ГО является актуальной задачей в связи с ростом рынка коммерческих запусков КА, имеющих различные весогабаритные характеристики.

Штатный ГО РН типа «Циклон» представляет собой цилиндрикоконический сборно-сварной отсек из элементов оболочек вафельного типа с продольно-кольцевыми ребрами жесткости. Две половинчатых створки ГО изначально стыкуются между собой при помощи системы механических замков с пирозамками и соединяются с РН креплениями пирозамков.

При сбросе ГО пирозамки и пирозамки разъединяются, створки ГО расстыкуются и, под действием усилий штоков пневмотолкателей, вращаются вокруг торцевых шарниров до момента рассоединения с РН.

Отделение ГО происходит на предзавершающем участке полета после прохождения РН плотных слоев атмосферы при скоростном напоре набегающего воздушного потока, близком к нулю. Величина продольной перегрузки РН в момент сброса ГО может составлять от 0,25 до 5,2.

Важным фактором, характеризующим эффективность вывода на орбиту КА, является динамическая зона ГО, которая представляет собой геометрический объем с учетом всех выступающих элементов, погрешностей изготовления, перемещений и деформаций конструкции ГО на всех этапах его эксплуатации. В свою очередь, зона полезного груза (ПГ) определяется внутренним пространством ГО, в котором размещается КА с учетом всех выступающих элементов и возможных отклонений от номинального положения за счет балансировки и деформаций при совместной эксплуатации с РН.

Основной задачей расчетного исследования процесса отделения створок ГО является анализ изменения динамической зоны и контроль наличия гарантированного зазора между элементами ГО и ПГ, определяющих надежность вывода и последующего функционирования КА на орбите.

Наиболее эффективно данная задача может быть решена с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Достижения МКЭ на фоне современных возможностей вычислительной техники позволяют проводить статический и динамический анализ конструкций весьма сложного вида. При этом возможен учет физической и геометрической нелинейностей, термодинамической связанности, различных граничных условий, в том числе условий сопряжения и т. п.

Следует отметить, что непосредственное применение МКЭ для исследования упругой динамики створок ГО в процессе их отделения на основе структурной модели, отвечающей конструкции РН, требует привлечения неоправданно больших вычислительных ресурсов и является малоэффективным ввиду существенного различия форм и размеров конструктивных элементов ГО.

В этой связи на этапе, предшествующем МКЭ решению, предложена рациональная аппроксимация створок ГО, содержащих вафельные элементы, гладкооболочечными моделями с жесткостными и инерционно-массовыми характеристиками, близкими к соответствующим значениям исходного конструктива.

Расчет упругой динамики процесса сброса ГО на основе сглаженной модели осуществляли с использованием метода Ньюмарка, реализованного в вычислительной среде ANSYS.

Проведенное расчетное исследование позволило выработать рекомендации по выбору рациональных конструктивных схем ГО, жесткостных и инерционно-массовых характеристик его элементов, а также изменению графика импульсной нагрузки в штоках пневматолкателей сбрасывающего устройства на стадии экспериментальной отработки штатного ГО.

Полученные данные внедрены в расчетную практику ГКБ «Южное», г. Днепропетровск, Украина.

УДК 629.4

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ КОЛЕБАНИЙ ВЛИЯНИЯ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Е. С. Чечулин

Брянский государственный технический университет, Россия

Одним из факторов, отрицательно влияющих на динамику пассажирского подвижного состава, являются колебания виляния, возникающие вследствие взаимодействия с макро- и микронеровностями пути. Указанные колебания приводят к снижению комфорта перевозки пассажиров, увеличению износа элементов ходовых частей и могут влиять на безопасность движения.

Традиционно снижение уровня колебаний виляния достигается за счет конструктивных решений ходовых частей вагона. Однако используемые подходы усложняют конструкции тележек и увеличивают их массу.

В работе предлагается вариант снижения уровня колебаний виляний за счет установки гидравлических гасителей колебаний в консольной части кузова вагона, между лобовой балкой и головной частью беззазорного сцепного устройства.

Оценка эффективности предлагаемого технического решения выполнена методами математического моделирования.

В качестве объекта исследования рассмотрен пассажирский вагон поездов постоянного формирования производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» модели 61-4462.

Для оценки динамических параметров вагона в среде программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» разработана твердотельная динамическая модель железнодорожного состава, состоящая из магистрального пассажирского двухсекционного электровоза постоянного тока ЧС7 и сцепа из трех вагонов, соединенных беззазорным сцепным устройством БСУ-3.

Динамическая модель подвижного состава представляет собой совокупность абсолютно твердых тел, моделирующих кузова вагонов, электровоза и основные элементы ходовых частей. Твердые тела объединены между собой вращательными шарнирами, контактными и упруго-диссипативными специальными силовыми элементами.

Рассмотрены три варианта сцепа вагонов. Первый вариант соответствует штатному вагону. Во втором – из конструкции пассажирского вагона исключены буферные устройства. В третьем варианте вместо буферных устройств введены гидравлические гасители колебаний предлагаемой конструкции.

При оценке динамических характеристик вагона моделировалось движение сцепа по прямому участку пути, в кривых и стрелочному переводу со скоростями в диапазоне 20–160 км/ч.

Анализ полученных в результате моделирования динамических характеристик вагона показал, что отказ от буферных устройств приводит к увеличению горизонтальных ускорений и сил отжатия рельсов, а также ухудшению коэффициента безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс.

Применение гасителя колебания виляния предлагаемой конструкции позволило улучшить показатели горизонтальной динамики вагонов в составе поезда на 10 %. При этом в совокупности с отказом от буферных устройств позволило снизить тару вагона практически на одну тонну.

Полученные результаты исследования были предоставлены специалистам ОАО «Тверской вагоностроительный завод» и могут служить основой для совершенствования выпускаемой продукции.

УДК 629.4

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ТЕЛЕЖКАХ С ПНЕВМОПОДВЕШИВАНИЕМ

В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов

Брянский государственный технический университет, Россия

В настоящее время на рынке пассажирских перевозок наблюдается устойчивый рост объемов в пригородном и межобластном сообщении. Рост связан с увеличением мобильности населения, в том числе и сезонным.

В работе выполнена оценка динамических характеристик электропоезда постоянного тока на тележках оригинальной конструкции с пневмоподвешиванием с конструкционной скоростью 160 км/ч.

Тележка предусматривает буксовую ступень подвешивания рычажного типа и пневморессоры центральной ступени. Продольные усилия передаются через специальные диагонально расположенные поводки.

Теоретическая оценка динамических характеристик вагонов электропоезда производится на основе математического моделирования движения сцепы, состоящего из двух головных, двух моторных и одного прицепного вагонов по прямому участку пути и в кривых с учетом их микронеровностей в скоростном диапазоне 20–160 км/ч.

При моделировании вагоны электропоезда представляются в виде системы тел, описывающей их пространственные колебания. Разработка и расчет модели производился в среде программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм».

Анализируемыми показателями являлись: вертикальные и горизонтальные поперечные ускорения кузова, усилия взаимодействия колес с рельсами, критическая скорость вагона, мощность сил трения в контактах колеса с рельсом, критерии безопасности от вкатывания колеса на рельс. Динамические характеристики кузова вагона определялись на уровне пола в зонах опирания кузова на тележки.

Анализ полученных при моделировании движения вагона показателей ходовой динамики вагона осуществляется по их средним значениям с вероятностью не превышения $P = 0,999$, получаемым путем обработки осциллограмм временных зависимостей в соответствии с РД 24.050.37.

Анализ динамических характеристик вагонов электропоезда, полученных при математическом моделировании, показал их полное соответствие требованиям нормативной документации. Сопоставляя динамические параметры головного, прицепного и моторного вагонов, можно отметить, что динамические параметры головного и прицепного вагона качественно и количественно близки. Динамические параметры моторного вагона устойчиво выше как в порожнем, так и в груженом режимах движения. Данное соотношение может быть объяснено большей массой моторного вагона, что приводит к необходимости увеличения жесткости упругих элементов буксовой ступени подвешивания. Достаточно близкое совпадение динамических параметров головного и прицепного вагона объясняется подкаткой под оба вагона одинаковых тележек, а также малой разницей в массе кузовов.

Анализ динамических параметров, полученных на основе моделирования движения вагонов электропоезда при отказе пневмосистемы, показал, что их большинство находится в допустимых пределах. Превышение допустимого уровня рамных сил наблюдается только у опорной тележки в порожнем режиме. Также коэффициенты безопасности от выкатывания колеса на рельс приближаются к допустимым.

УДК 629.114.2

ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТИ В ТРАНСПОРТНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ С ПЕРЕГОРОДКАМИ

М. Г. Кузнецова

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

Установка внутренних перегородок является основным способом ограничения подвижности жидкости в транспортных резервуарах за счет демпфирования продольных и поперечных колебаний жидкости. Существуют варианты схем установки перегородок, в которых их предполагается устанавливать горизонтально, вертикально либо под углом к продольной оси резервуара. Различными авторами предложено

множество вариантов размещения демпфирующих колебания жидкости устройств, однако оптимальное техническое решение до сих пор не найдено.

В работах Шимановского А. О. предложен принципиально новый метод, позволяющий оценить способность перегородок демпфировать колебания, основанный на анализе уменьшения суммарной кинетической энергии жидкости (диссипации энергии) за время одного ее колебания. Целью представленной работы было создание методики компьютерного моделирования перетекания жидкости в резервуаре автоцистерны в среде пакета ANSYS Workbench.

Рассмотрен случай движения автоцистерны с постоянным замедлением для 50 и 60 % уровней заполнения цистерны. Начальная скорость движения автомобиля составила 15 м/с, после чего движение происходило с замедлением 0,6 g. Шаг по времени принимался равным 0,015 с. В цилиндрическом резервуаре с длиной 4 м и диаметром 2 м может быть установлена поперечно расположенная перфорированная перегородка с различными размерами отверстий. Созданные конечноэлементные модели включали от 150 до 300 тыс. конечных элементов. Например, модель для диаметра перфорации перегородки 20 см имеет 303185 конечных элементов. Анализ полученных результатов показал, что при уменьшении диаметра перфорации до 5 см поведение жидкости в цистерне с перфорированной перегородкой практически не отличается от случая движения при сплошной перегородке, разделяющей резервуар цистерны на два отдельных отсека.

Для торможения транспортного средства при входе в поворот была создана конечноэлементная модель цистерны с водой, имеющая три перегородки сферической формы с отверстием по центру, прототипом которой была конструкция, исследованная в университете Конкордия (Канада). Модель включала более 110 тыс. конечных элементов. Коэффициент поверхностного натяжения воды был принят равным 0,072 Н/м. Уровень заполнения цистерны составлял 60 %. При выполнении расчетов линейное ускорение цистерны вдоль продольной оси x было равно 0,3 g, вдоль поперечной оси z – 0,25 g. Сравнение полученных нами результатов определения давлений жидкости на стенки резервуара со значениями, приведенными в работе канадских исследователей, показали их хорошее совпадение, что подтверждает адекватность разработанных нами моделей реальным процессам.

Выполненный анализ позволил осуществить нахождение диссипации энергии при различных вариантах перемещения транспортного средства. Таким образом, появляется возможность комплексной оптимизации конструкции кузова автоцистерны, которая связана с максимизацией диссипации энергии колебаний жидкости, выполненной с учетом ограничения, наложенного на максимальные напряжения в конструкции.

УДК 621.225.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛОСКИХ ЗОЛОТНИКОВЫХ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ПРИ ИХ ФОРСИРОВАНИИ ПО ДАВЛЕНИЮ

А. В. Михневич, Д. Л. Стасенко

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

В настоящее время в ответственных гидросистемах возрастающее распространение получают золотниковые распределители с плоским золотником, что связано с определенными их достоинствами. В соответствии с наметившейся тенденцией форсирования гидроприводов по давлению рабочее давление в распределительных

гидроаппаратах может достигать 40–60 МПа, вызывая заметные напряжения наиболее ответственных элементов. Специфика реверсивных трехпозиционных золотниковых распределителей требует установки пружин возврата в исходное положение. Поэтому в практике конструирования золотниковых распределителей необходимо знать усилие управления для переключения золотника.

На основании проведенных экспериментальных измерений усилий управления при переключении золотника из различных позиций трехпозиционного плоского золотникового гидрораспределителя при форсировании его по давлению и сопоставление экспериментальных данных с расчетными по формуле, приведенной в предыдущем сообщении [1], сделан вывод, что при высоких давлениях рабочей жидкости в зазорах плоского золотникового распределителя возникают значительные упругие деформации, которые существенно искажают режимы гидродинамического трения в распределительном устройстве. Упругое деформирование контактных поверхностей распределительного устройства обуславливает возрастающее отклонение экспериментально измеренных перестановочных усилий от расчетных результатов при значительном увеличении рабочего давления (30–40 МПа и более).

Составлена модель упругого деформирования основных элементов плоского золотникового распределителя при высоких давлениях рабочей жидкости. С учетом упругой деформации контактных поверхностей под воздействием давления жидкости толщина слоя жидкости в зазоре между золотником и рабочей поверхностью опорной плиты: $h = h_0 + kp$, где h_0 – величина недеформированного зазора трения, p – давление в данной точке зазора; k – коэффициент пропорциональности, зависит от геометрии деформируемых тел и их упругих свойств. Например, при локальном гидростатическом давлении $p = 40$ МПа величина локальной поперечной упругой деформации рабочей поверхности золотника составляет 2 мкм, что весьма ощутимо для зазоров трения.

На основании полученных результатов сделан вывод, что упругие деформации контактных поверхностей приводят к более равномерному (насыщенному) распределению давления жидкости в зазоре, что и приводит к непропорциональному изменению величины перестановочных усилий при увеличении давления рабочей жидкости.

Таким образом, при расчете плоских золотниковых распределителей необходимо учитывать неизбежную при форсировании по давлению упругую деформируемость контактных поверхностей, существенно влияющую на условия работы распределителя.

Литература

1. Михневич, А. В. Некоторые вопросы динамики плоских золотниковых гидрораспределителей / А. В. Михневич // *Соврем. проблемы машиноведения: тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф. Гомель, 28–29 окт. 2010 г.*

УДК 624

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ В КУЛАЧКОВОЙ ПАРЕ

Г. П. Тариков, А. Т. Бельский, В. В. Комраков, Ю. Е. Кирпиченко

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

Кулачковые механизмы наряду с зубчатыми механизмами относятся к наиболее распространенному виду передаточных механизмов современных машин. Особенно широко они нашли применение в производственных машинах-автоматах, ко-

гда исполнительный механизм предназначается для осуществления движения, имеющего стабильный, цикловой характер.

Геометрические размеры кулачковых механизмов, в случае, когда закон движения толкателя определяется технологической операцией, назначаются в соответствии со значениями его параметров.

Он должен быть таким, чтобы динамические усилия, возникающие при работе кулачкового механизма, не сказывались на точности работы и на долговечности его деталей.

При работе кулачкового механизма происходит износ трущихся поверхностей. Одним из основных факторов, влияющих на износ профиля кулачка, является скорость относительного скольжения, которая в свою очередь зависит от вида профиля кулачка, т. е. от вида закона движения толкателя.

Скорость относительного скольжения, как известно, влияет на износ через температуру трения, а самостоятельное ее влияние на износ обуславливается тем, что скорость микродеформаций на контакте прямо связана со скоростью относительного скольжения.

Целью данной работы было установление законов изменения относительных скоростей скольжения в кулачковом механизме с остроконечным толкателем при различных законах движения толкателя.

Координата профиля кулачка (рис. 1) определяется радиус-вектором \vec{r} и углом φ , который отсчитывается в направлении, противоположном направлению вращению кулачка.

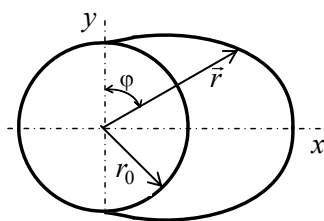


Рис. 1

Переходя от полярной системы координат к декартовой, отметим, что координаты точки профиля будут определяться по зависимостям:

$$x = r \sin \varphi = (r_0 + s(\varphi)) \sin \varphi; \quad y = r \cos \varphi = (r_0 + s(\varphi)) \cos \varphi.$$

Дифференцируя эти выражения по углу поворота кулачка, получим выражения для определения значения аналогов скоростей точки контакта при движении вдоль осей координат.

Аналог скорости в относительном движении определяется по формуле

$$V' = \sqrt{V_x'^2 + V_y'^2},$$

а скорость относительного скольжения

$$V_s = V_s' \omega_k,$$

где ω_k – угловая скорость кулачка.

На основании проведенных расчетов были получены зависимости изменения скоростей относительного скольжения для различных законов движения и углов удаления, которые позволят оценить интенсивность изнашивания по параметру FV .

Для случая косинусоидального закона движения толкателя, при $\delta_{\max} = 30^\circ$, $h = 30$ мм, $\varphi_y = 90^\circ$ и $r_0 = 40$ мм, зависимость изменения аналога скорости относительного скольжения от угла поворота кулачка имеет вид (рис. 2):

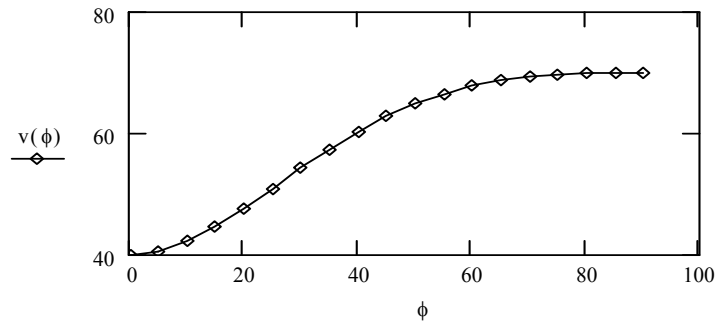


Рис. 2

Литература

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин : учеб. для втузов / И. И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 2009. – 639 с.
2. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики : учеб. для вузов / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. – СПб. : Изд-во «Лань», 2004. – 768 с.

УДК 624

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Г. П. Тариков, А. Т. Бельский, В. В. Комраков, Е. М. Акулова

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

Рассматривается задача об определении напряженно-деформированного состояния трубы большого диаметра, находящегося под действием внутреннего давления. Труба имеет коррозионное повреждение, возникшее в процессе эксплуатации трубопровода.

Полагаем, что коррозионное повреждение ограничено дугой окружности.

В том месте трубы, где имеется коррозионное повреждение, вырезаем элемент трубы. Напряжение, которое следует применить к выделенному элементу, определяется из уравнения Лапласа. Считаем, что материал трубы однородный и изотропный. Под действием внутреннего давления часть трубы будет находиться в упругом состоянии, а другая часть – в пластическом состоянии. Связь между напряжениями и деформациями в упругой стадии определяется по известным формулам. Для описания поведения материала в пластической области используется теория малости упругопластической деформации. При определении зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций использованы результаты испытаний на растяжение.

В результате решения задачи построены эпюры для определения напряжений по рассматриваемому сечению стенки трубы. Определена длина пластической зоны. Затем узкая пластическая зона рассматривается как трещина и к ней применено условие разрушения Ирвина.

Получено также чисто упругое решение данной задачи, которое сравнивается с упругопластическим решением.

Рассмотрен числовой пример, в котором сначала выполнен упругий расчет, на основании которого оценивается размер пластической зоны, затем решается задача в упругопластической постановке. При этом материал трубы считаем идеальным упругопластическим телом. Решение упругопластической задачи получено методом конечных элементов с использованием способа итерации.

На основании упругопластического решения получены точные значения размеров пластической зоны. При этом используются эпюры расчетных напряжений по IV теории прочности.

Полученные результаты позволяют проверить, произойдет ли фактически разрушение трубы с данным коррозионным повреждением при действии заданного внутреннего давления.

УДК 621

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА НАГРУЖЕНИЯ МАШИН ТРЕНИЯ

Ю. Е. Кирпиченко, Г. П. Тариков, В. В. Комраков, А. Т. Бельский

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

Исследование эволюционных преобразований, которые происходят в трибологической системе в зависимости от внешних условий трения – скорости относительного скольжения, силы нормального давления, вида смазки и т. д., как правило, производится на серийно выпускаемых машинах трения. Одним из существенных недостатков существующего парка испытательного оборудования является невозможность воспроизведения в полном объеме особенностей динамической системы трения, которая главным образом обуславливается конструкцией механизма нагружения. Важным условием верификации результатов испытаний является также оснащение традиционного оборудования современными программно-аппаратными средствами.

Для минимизации методических погрешностей был разработан универсальный модуль нагружения и набор адаптированных к универсальным электронным блокам программ обработки и хранения информации. Основной конструктивной особенностью разработанного модуля являлось наличие двух шарнирных опор, связанных между собой упругим элементом, заключенным в металлический корпус. Для автоматической установки уровня нагрузки модуль оснащается электромеханическим приводом деформации винтовой пружины. Электронный блок – блок сопряжения представлял собой универсальный адаптер аналого-цифрового вывода ADCS24-2T с микропроцессором, преобразующим первичную информацию, поступающую от датчиков силы трения, скорости перемещения образцов, числа циклов взаимодействия и т. д. в формат, удобный для дальнейшей обработки на ЭВМ с помощью языков программирования высокого уровня. Была также проработана возможность, в случае отсутствия специализированной платы, использования звуковой карты, входящей в комплект персонального компьютера. Кроме того, блок сопряжения осуществлял контроль над ходом проведения испытаний путем преобразования команд, посту-

пающих от ЭВМ, сформированных в результате обработки и анализа первичной информации, поступающей от датчиков машины трения.

Программа обработки сигналов систем измерения параметров трения и фрикционных характеристик позволяла:

- отображать на дисплее компьютера кинетику изменения коэффициента трения, температуры, износа в реальном масштабе времени;
- производить расчет минимального, среднего и максимального значения коэффициента трения, износа и температуры в течение эксперимента;
- формировать файл для сохранения полученных данных.

Проведенные испытания известных антифрикционных материалов на основе полимеров с использованием разработанного модуля и программно-аппаратных средств показали снижение трудоемкости и увеличение воспроизводимости полученных данных.

УДК 62-33 (075.8)

ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ДРОССЕЛИРУЮЩИХ КАНАВКАХ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Д. В. Лаевский

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

Аппараты с пропорциональным электроуправлением применяются в основном для дистанционного управления параметрами гидропривода, возможно также их использование в качестве звеньев замкнутых систем автоматического регулирования. Большое значение, в технологической и мобильной технике, приобретает существенное уменьшение количества и упрощение трассировки гидролиний. Эта особенность пропорциональной гидроаппаратуры привода обеспечивает полную свободу его компоновки, позволяет упростить конструкцию и снизить металлоемкость оборудования и машины.

Целью данной работы является исследования течения жидкости в дросселирующих канавках гидрораспределителей.

Для достижения поставленной цели определены основные теоретические зависимости, необходимые для расчета плунжерной пары и дальнейшего ее конструирования.

$$F = Q\vartheta\rho\cos\alpha,$$

где Q – секундный объемный расход жидкости; ϑ – скорость потока жидкости через щель окна; ρ – плотность жидкости; α – угол, образованный осями золотника и потока жидкости.

Рассмотрены основные виды золотниковых дросселей распределителей, которые необходимы для математического описания дросселирующих устройств и силового взаимодействия рабочих органов с потоком жидкости.

Сравнительные характеристики треугольных канавок с радиальным треугольным и прямоугольным сечением показали, что во втором случае, где треугольное сечение, имеет более плавную расходную характеристику в начальный момент открытия, что свидетельствует о плавном росте гидродинамической силы (рис. 1).

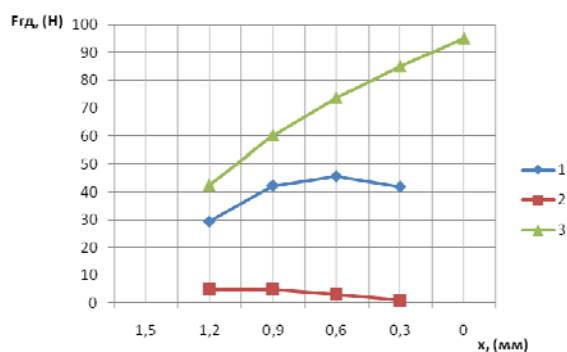


Рис. 1. Теоретическая зависимость гидродинамической силы от перемещения золотника:

1 – треугольная канавка в сечении прямоугольник; 2 – треугольная канавка в сечении треугольник; 3 – острая кромка

Выводы

Определено, что основными факторами, определяющими статические и динамические характеристики гидроаппаратов, являются: форма и пропускная способность проточной части как дросселирующей системы, определяемой коэффициентом расхода; силовое взаимодействие подвижного запорно-регулирующего элемента (золотника) и потока жидкости, определяемое гидродинамическими силами.

Установлено, что гидродинамическая сила в гидрораспределителях с треугольной канавкой при расходе 80 л/мин составляет около 10 Н, что на 30 % ниже по сравнению с серийно выпускаемыми аппаратами.

Литература

1. Свешников, В. Интеллектуальная гидравлика: приводы с пропорциональным управлением / В. Свешников // Конструктор. Машиностроитель. – 2011. – № 1. – С. 42–47.
2. Данилов, Ю. А. Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики / Ю. А. Данилов, Ю. Л. Кирилловский, Ю. Г. Колпаков. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
3. Лаевский, Д. В. Исследования гидродинамических процессов в пропорциональных гидрораспределителях / Д. В. Лаевский, И. Н. Головкин // XI ММНТК ГГТУ. – Гомель, 2011. – С. 52–56.

УДК 62-33 (075.8)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко

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

Разработка и внедрение систем автоматического управления гидрофицированным оборудованием, форсированных по давлению, повышающих динамические характеристики привода и не требующих при этом значительных материальных затрат, является актуальной задачей как в научном, так и в практическом аспектах [1].

Целью данной работы является формирование модели процесса течения жидкости в проточной части гидрораспределителя.

В данной работе была смоделирована проточная часть гидрораспределителя с условным проходом $D_y = 10$ мм. В качестве прототипа для исследования был выбран

дросселирующий гидрораспределитель РУП «Гидропривод» модели 1РГЕ-10. Моделирование выполнялось в программе «FlowVision» для следующих начальных условий рабочей среды: плотность (890 кг/м^3); температура $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ($323 \text{ }^\circ\text{K}$), вязкость (46 сСт), скорость на входе ($v = 5 \text{ м/с}$).

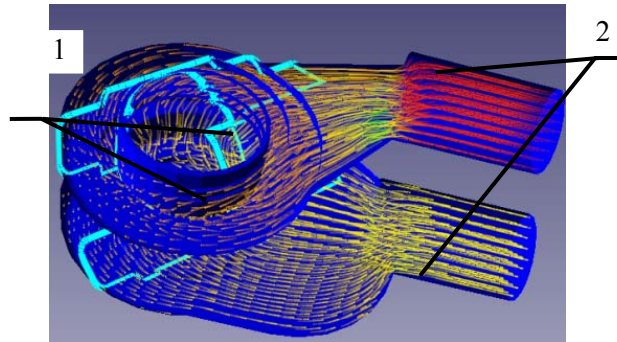


Рис. 1. Распределение полей давления в трехмерном виде

По результатам моделирования получены графические трехмерные изображения полей давления жидкости на стенки корпуса и распределение векторов скоростей потока рабочей среды в проточной части гидрораспределителя.

Анализ полученной модели показал, что при открытии расходной щели на кромках ЗРЭ (рис. 1, позиция 1) в первоначальный момент времени возрастает давление, что существенно влияет на усилие открытия ЗРЭ, повышая вероятность гистерезиса. В проточной части возникают зоны пониженного давления рабочей среды (рис. 1, позиция 2), которые влияют на перепадно-расходные характеристики гидрораспределителя и гидросистемы в целом.

Изменение формы проточной полости гидрораспределителя обеспечит выравнивание давления в проточной части гидрораспределителя и таким образом улучшит его перепадно-расходные характеристики.

Литература

1. Свешников, В. Интеллектуальная гидравлика: приводы с пропорциональным управлением / В. Свешников // Конструктор. Машиностроитель. – 2011. – № 1. – С. 42–47.
2. Каталог продукции фирмы «ГСКТБ ГА».
3. Кузнецов, Е. Г. Моделирование течения жидкости и определение его гидродинамических характеристик / Е. Г. Кузнецов, В. В. Шмелев // Наука и конструирование, 2009.
4. Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкости. Т. 1, 2 / К. Флетчер. – М. : Мир, 1991. – 502 с., 552 с.

УДК 621.822.1: 674.04

ИЗНОСОСТОЙКИЕ УЗЛЫ ТРЕНИЯ, РАБОТАЮЩИЕ В АБРАЗИВНЫХ СРЕДАХ

В. И. Врублевская, В. В. Врублевская

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

Надежность функционирования машин и механизмов обусловлена высокой работоспособностью узлов трения как на подшипниках качения (далее ПК), так и

скольжения (далее ПС). При идеальных рабочих условиях ПК могут непрерывно эксплуатироваться в течение многих лет, однако в абразивных средах они не реализуют свой ресурс даже при самой сложной системе уплотнений и выходят из строя в результате абразивного износа, атмосферной коррозии, усталостного разрушения контактной поверхности и прочего, что ведет к высокой стоимости простоя обрودования. В абразивных средах идеально обеспечивают работу узла трения подшипники скольжения самосмазывающиеся торцово-прессового деформирования модифицированной древесины (далее ПСС ТПД), работающие бесшумно в режиме самосмазки, при этом не требуется устанавливать никаких уплотнительных устройств.

Цель исследования – теоретически обосновать высокую износостойкость и работоспособность ПСС ТПД в абразивных средах.

Методика исследования. Исследования образцов проводились с помощью оптической конфокальной микроскопии, с последующим изучением молекулярного и субмикроскопического строения древесного вещества клеточной стенки и модификаторов.

Результаты исследования. Физико-механические свойства древесины зависят от строения и свойств основного ее компонента – целлюлозы $(C_6H_{10}O_5)_n$, – степень полимеризации которой колеблется от 200 до 10000, а молекулярная плотность составляет от 200000 до 2000000. В клеточной стенке целлюлоза имеет высокую степень ориентированности параллельных макромолекул. Они находятся в виде тончайших волоконцев – микрофибрилл, длиной 50–60 нм, диаметром 5–7 нм. Агрегаты микрофибрилл образуют фибриллы длиной 1000–2500 нм и диаметром 30–35 нм, которые были получены после химической обработки еловой древесины. В клеточной стенке микрофибриллы имеют цилиндрическое спиральное строение и направлены вдоль ствола древесины. Молекулы целлюлозы не жесткие и обуславливают хорошие демпфирующие свойства древесины при работе торцовой поверхностью. Высокая износостойкость обусловлена необходимостью затраты энергии для разрушения внутримолекулярных связей. А окружающий абразив (угольная пыль, песок и др.) отталкивается волокнами от контактной зоны и оседает на торцовой поверхности и с накоплением осыпается. Микроструктурными исследованиями образцов после антифрикционных испытаний установлено отсутствие абразива на контактных поверхностях. По энергии разрыва химических связей целлюлозы и модификатора и их взаимодействия при трении в контактной зоне можно судить о прочности граничного смазочного слоя.

Подшипники скольжения самосмазывающиеся ТПД обладают высоким демпфированием благодаря древесным волокнам, направленным строго перпендикулярно контактной поверхности. Поэтому ПСС ТПД надежны в работе при динамических и ударных нагрузках, так как гасят колебания и снижают общий уровень шума, при этом отпадает необходимость в специальных виброгасящих устройствах.

Таким образом, высокая износостойкость ПСС ТПД в абразивных средах при трении торцовой поверхностью в режиме самосмазки может быть обоснована особенностью молекулярного и субмикроскопического строения древесины и взаимодействием смазочных модификаторов с целлюлозой. Результаты исследований позволяют прогнозировать создание новых антифрикционных материалов с заданными свойствами.

СЕКЦИЯ Б. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.7.043

ПОКАЗАТЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВИНТОВЫХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ГИБКИ ПОЛОСЫ НА РЕБРО

В. В. Васылькив

*Тернопольский национальный технический университет
имени Ивана Пулюя, Украина*

К настоящему времени в металлообработке сформировался значительный массив многообразий способов изготовления винтовых заготовок (ВЗ) для деталей типа шнеков методом гибки полосы на ребро. Выбор конкретной технологии осуществляется с помощью показателей технологичности, таких как относительный радиус изгиба начальной заготовки $r' = r_0/B$, коэффициент удельной высоты витка винтовой заготовки $b = B/H$, коэффициент шага витка $K_T = T/2(r_0 + B)$, коэффициент неравномерности вытяжки спирали $\psi = \sqrt{[(2\pi(r_0 + B))^2 + T^2]/[(2\pi r_0)^2 + T^2]}$ (r_0 – радиус спирали по внутренней кромке витка, T – шаг витка, B и H – высота и толщина витка). Однако такие критерии не учитывают механических свойств материала заготовки, температуры и скорости деформации.

Целью исследований была разработка нового комплексного показателя технологичности. В результате экспериментальных исследований установлена зависимость:

$$b_M = \frac{HB^{m+2} A \cdot 10^{-3} k}{2^{m+1} r_0^m (m+2)} = \frac{HB^2 A \cdot 10^{-3} k}{2^{m+1} (m+2)} (\psi - 1)^m,$$

где k – коэффициент, учитывающий особенности схемы формообразования ВЗ; A , m – постоянные коэффициенты при аппроксимации связи между напряженными деформациями материала (зависят от температуры и скорости деформации): $\sigma = A\varepsilon^m$.

Определения коэффициентов A и m осуществляется за известными методиками при условии, что схематизированная кривая проходит через точки действительного предела текучести σ_T и истинного предела прочности σ_B кривой упрочнения: как известно, $m = \left[\lg \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_T} \right]^{-1} \lg \frac{\sigma_B}{\sigma_T}$, $A = \frac{\sigma_B}{\varepsilon_B^m}$ где ε_T и ε_B – деформации, которые соответствуют σ_T и σ_B . Значения коэффициентов m и A определяются путем механических испытаний образцов на растяжение или по справочным данным.

Таким образом, изготовление винтовой заготовки из полосовой заготовки возможно при условии: $b_M \leq [b_M]$, $[b_M]$ – допустимое значение показателя технологичности для эталонного материала – стали Ст3 при $b = 20$.

Максимальное значение показателя технологичности для определенной марки материала:

$$b_{M\max} = \frac{H B^2 A k \delta^m (1 + \delta)^m 2^{m-1} 10^{-3}}{m + 2},$$

где δ_5 – относительное удлинение, при стандартном испытании материала на растяжение.

При изготовлении ВЗ из низкоуглеродистых сталей (Ст3, 08кп) методом холодной навивки полосы на ребро наибольшего значения $b_M \approx 7...9$ ($K_T \leq 2,2$, $b = 15...20$, $r' \leq 1$, $\psi \leq 2,8$), можно достичь результата путем использования схемы перпендикулярного размещения ступенчатого ролика относительно оси оправы ($k = 1$) (Пат. Украины №№ 62003, 54140, 52566). При использовании сплавов на основе алюминия $b \leq 52$, $b_M \leq 22...25$.

УДК 621.73.16

НОВЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ШТАМПОВКИ С ОБКАТЫВАНИЕМ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

С. П. Гожий

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Использование процессов локального формообразования при изготовлении широкой номенклатуры изделий приводит к ощутимому снижению себестоимости, повышению показателей качества и конкурентоспособности производителя.

Стремительно распространяется промышленное использование штамповки с обкатыванием. Примерами прорывного распространения этих технологий могут служить:

- реализация Рекомендаций по освоению новых перспективных технологических процессов в области обработки металлов давлением на период 2006–2015 гг., которая принята в Российской Федерации. В соответствии с которой ОАО «Тяжпрессмаш» (г. Рязань) готовит к производству серийные гидравлические прессы с ЧПУ номинальной силой 1,6 МН, 2,5 М, 6,3 МН, 10,0 МН, 16,0 МН, 20,0 МН для штамповки с обкатыванием осесимметричных деталей;

- внедрение на Минском тракторном заводе (Республика Беларусь) технологий и оборудования для штамповки с обкатыванием швейцарской фирмы «Heinrich Schmid Maschinen und Werkzeugbau AG», которые позволят производить окончательное формирование зубчатого венца конических прямозубых шестерён и сателлитов дифференциала заднего моста тракторов;

- технологическое перевооружение автомобильной промышленности Китайской Народной Республики;

- использование качественных возможностей штамповки с обкатыванием при изготовлении таких массовых деталей, как диски автомобильных колес и пр.

Приведенные примеры успешного использования технологий с локальным очагом деформирования основываются на широких технологических возможностях способа.

Эти возможности существенно расширяются или возникают новые качественные эффекты при оснащении специализированного оборудования сравнительно простыми по конструкции приспособлениями. Эффективную отдачу можно получить и при сочетании штамповки с обкатыванием с другими технологическими приемами, т. е. от создания комбинированного воздействия на обрабатываемую деталь.

В настоящий момент малоизученными, но многообещающими являются технологические эффекты от объединения штамповки с обкатыванием с осевым формообразованием центральной полости изделия. При этом реализуется значительное количество разнообразных схем обработки. Одним из эффективных примеров такой реализации является возможность моноблочного изготовления сложных фланцевых деталей, которые по штатным технологиям изготавливаются составными из нескольких деталей, а затем соединяются между собой различными видами соединений.

Оснащение прессов для штамповки обкатыванием дополнительным приводным силовым пуансоном, расположенным в корпусе подвижного активного прессователя, придает новые технологические способности по формообразованию полосей и изготовлению деталей со сложным внешним торцевым рельефом. Изменения, внесенные в кинематическую схему оборудования, позволяют говорить о создании новой группы кузнечно-штамповочного оборудования – прессов для штамповки с обкатыванием двойного действия.

УДК

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ЦЕМЕНТУЕМОЙ СТАЛИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»

Л. Р. Дудецкая, А. Н. Глушаков

*Физико-технический институт Национальной
академии наук Беларуси, г. Минск*

Основной целью исследований является создание и освоение в производстве новой стали с наследственно мелким зерном для нагруженных зубчатых колес трансмиссии трактора «Беларус».

В настоящее время существуют два основных подхода к созданию высокопрочных сталей для тяжелонагруженных зубчатых колес (ТЗК). Один из них заключается в повышении комплекса свойств существующих марок сталей за счет реализации оптимальной схемы легирования, другой – в применении таких технологических приемов, как вакуумный и электрошлаковый переплав (ЭШП). В качестве базовой была выбрана сталь 20ХГНМ, дополнительно легированная ниобием, величина добавки которого не превышала 0,04 % по массе.

Выплавку стали производили в индукционной печи ИО-102 с кислой футеровкой вместимостью 150 кг. Из отлитых в песчаные формы слитков диаметром 150 мм изготовили поковки диаметром 80 мм для переплава на экспериментальной установке ЭШП в Институте технологии металлов НАН Беларуси. В процессе переплава использовали флюс АНФ-6-1. Характерной особенностью стали подвергнутой ЭШП является минимальное содержание растворимых газов и неметаллических включений, низкое содержание серы, отсутствие угара элементов. Угар кремния и углерода составляет 10–20 %, поэтому их содержание в исходной заготовке должно быть скорректировано в сторону увеличения. Изменение химического состава стали при ЭШП приведено в табл. 1.

Изменение химического состава стали при ЭШП

Условия изготовления стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Nb
Индукционная плавка	0,24	0,32	0,46	0,65	0,01	0,022	0,56	0,24	0,045
Электрошлаковый переплав	0,22	0,26	0,45	0,65	0,005	0,018	0,55	0,24	0,043

Полученные слитки ЭШП на пневматическом молоте усилием 1 т ковали на заготовки для получения поковок зубчатых колес. Часть заготовок была прокована в прутки для изготовления образцов на разрыв и ударную вязкость. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Механические свойства серийной и опытной сталей при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Сталь	σ_b	σ_T	δ	Ψ	КСУ	Термическая обработка
	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	
20ХГНМ 4543–71	1180–1570	930	7	–	590	Закалка 860 °С, масло, отпуск 150–180 °С, воздух
Опытная	1346	1219	7,2	53,5	1580	

Таким образом, установлено, что сталь 20ХГНМ, легированная ниобием в пределах 0,02–0,04 %, обладает высокими прочностными и пластическими свойствами, а также имеет мелкозернистую структуру на уровне 11–13 баллов. Изготавливается опытная партия зубчатых колес из новой стали.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ОТКАЗОВ КРУТИЛЬНО-МОТАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН

Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев, Е. В. Сенчуров, В. В. Шабуня

*Белорусский государственный аграрный
технический университет, г. Минск*

Одним из условий обеспечения планируемой производительности прядильных машин является снижение текущей обрывности нити, зависящей от шероховатости поверхности прядильных колец крутильно-мотального механизма. При обрыве нити она уходит в мычкоулавливатель и для ее возврата требуются высокий профессионализм работника и немалые затраты его труда. Беспрепятственное прохождение нити по дорожке прядильного кольца связано с его низкой шероховатостью, поскольку микронеровности выполняют роль режущих микролезвий при наличии дополнительного натяжения нити. Сложность обеспечения шероховатости поверхности прядильных колец ($Ra = 0,02$ мкм) методом шлифования обусловлена возникновением высокой температуры (до 800 °С) в зоне обработки, что приводит к возникновению прижогов и градиенту напряжений. Данное явление является причиной увеличения числа отказов крутильно-мотального механизма, что сказывается на производственных показателях предприятия.

Альтернативным шлифованию способом финишной обработки цилиндрических, конических, сложно-профильных поверхностей, является магнитно-абразивная обработка (МАО). Применение МАО позволяет повысить производительность обработки и качество поверхностей деталей как под различные покрытия, так и на заготовительных операциях. Сущность метода заключается в воздействии на обрабатываемую поверхность частиц ферроабразивного порошка (ФАП) при наличии определенной порции смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), ориентированных энергией электромагнитного поля (ЭМП).

Для возможности реализации МАО были проведены экспериментальные исследования по определению технологических режимов прядильных колец для текстильного производства (рис. 1), которые служат для изготовления пряжи из шерстяного, хлопкового и льняного волокна.



Рис. 1. Прядильное кольцо для текстильного производства

Применяемое оборудование – станок СФТ 2.150.00.00.000. ФАП – Ж15КТ ТУ 6-09-03-483–81, $\Delta = 100/160$ мкм. СОТС – СинМА-1 ТУ 38.5901176–91, 5%-ный водный раствор. Величина рабочего зазора варьировалась от $\delta = 1–3,5$ мм, коэффициент заполнения рабочего зазора, $k_z = 1$, время обработки составляло $t = 120$ с. Исходная шероховатость $Ra_1 = 0,8–1$ мкм. Выходные показатели: удельный массовый съем материала, Q , $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$, достигаемая шероховатость поверхности Ra_2 , мкм.

В результате проведенных исследований установлены режимы обработки прядильных колец для текстильного производства: магнитная индукция $B = 1,1$ Тл, скорость вращения, $V_d = 2$ м/с, амплитуда осцилляции $A = 3$ мм, которые обеспечивают шероховатость поверхности по параметру $Ra = 0,01–0,02$ мкм при величине удельного массового съема – $10,5 \text{ мг}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$. Данные показатели шероховатости обеспечивают снижение обрывности нити пряжи до 25 %.

УДК 621.436: 621.827.1

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТОЧНОЙ ШТАМПОВКИ ПОКОВКИ ШАТУНА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**А. П. Ласковнев, А. Ю. Изобелло, И. К. Данильчик***Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

При изготовлении полуфабрикатов шатунов наибольшее распространение получила технология горячей объемной штамповки с облоем. Например, Минский моторный завод для выпускаемых дизельных двигателей значительную часть поковок шатунов, изготавливаемых по упомянутой технологии, приобретает на Минском тракторном заводе. Точность таких поковок не высока, что является причиной их разброса по массе. Этот фактор вносит существенные сложности в технологию производства двигателей, так как требуется селективная подборка шатунов по массе и механическая обработка специального напуска для стабилизации последней.

Однако эти меры не обеспечивают полной идентичности условий работы шатунов, поскольку последние из-за разницы в геометрических параметрах имеют различные моменты инерции и вносят существенный дисбаланс в работу ДВС.

Таким образом, напрашивается вывод о необходимости радикального решения – разработки технологии получения поковок с высокими точностными параметрами необрабатываемых поверхностей.

Тем самым будет решена задача лимитизации массы шатунов и идентичности их моментов инерции; при этом появится возможность отказаться от напуска, предназначенного для стабилизации массы механообработкой.

Решение проблемы возможно путем безоблойной штамповки с использованием схемы неравномерного всестороннего сжатия при компенсационном истечении избытка металла в зоны последующей механической обработки.

Для реализации поставленной задачи использовалась технологическая линия, состоящая из трех кривошипных прессов усилием 63, 250 и 630 тс и установки индукционного нагрева. Закалка поковок шатунов осуществлялась при остаточной температуре штамповки, по известной технологии высокотемпературной механической обработки. Заданная твердость обеспечивалась отпуском в камерной печи сопротивления.

В результате изготовления поковок шатунов по разработанной технологии безоблойной штамповки удалось обеспечить стабильность геометрических размеров поковок и массовый разброс не более 30 г (вес поковки 1750 г). На данном этапе получена опытная партия поковок шатунов (рис. 1), которая проходит испытания на Минском моторном заводе. В Физико-техническом институте проводятся работы по доводке технологии, изготовлению производственной оснастки и изготовлению устройств для испытаний механических свойств поковок шатунов.



Рис. 1. Поковка шатуна 3-х цилиндрического дизельного двигателя

УДК 621.9.048

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ
ОБРАБОТКИ ПРОВОЛОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА****М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, А. В. Москаленко, П. С. Богдан***Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

При распиливании хрупких материалов в качестве инструмента применяется проволока различных диаметров (от 0,02 до 0,3 мм), которая используется в ее исходном виде. Широкое применение такого инструмента обуславливает ряд достоинств: малое количество отходов, малая толщина пропилов, высокое качество поверхности после реза. Проведенные исследования показали, что у такого метода обработки еще есть потенциал для развития, такой, как повышение производительности обработки.

Одной из возможностей повышения производительности является нанесение на проволоку режущих элементов или контуров. Такие элементы будут способствовать интенсификации снятия стружки с обрабатываемой поверхности. Если же распиливание проходит с применением абразивных частиц, то созданные на поверхности проволоки углубления будут удерживать абразивные зерна на поверхности, благодаря чему значительно уменьшится перекачивание абразивных частиц в зоне обработки, что повысит скорость проведения операции.

Наиболее простым и эффективным методом обработки проволоки для нанесения режущих элементов является электроконтактная обработка (ЭКО), после которой на поверхности остаются углубления (лунки) с острыми кромками, которые идеально подходят для заданных целей. Так как обработка может проходить разными схемами и с различными параметрами, то важно выяснить, какие из них обеспечивают наилучший результат.

Для сравнения были созданы две лабораторные установки, на которых обрабатывались образцы проволок. В одной был применен электромагнитный вибратор, представляющий собой электромагнит с присоединенным к нему инструментом. Инструмент совершал колебания за счет подачи на электромагнит переменных импульсов и ударял по заготовке. Во второй установке был применен электромеханический вибратор. Инструмент был закреплен на оправке, установленной на валу электродвигателя. При вращении инструмент периодически касался заготовки.

В обеих установках для создания напряжения между заготовкой и инструментом использовался источник питания с возможностью регулирования напряжения (20–40 В) и емкости накопительного конденсатора (50–300 мкФ).

При обработке образцов на установках с различными параметрами были установлены следующие характеристики обработки:

– при обработке на поверхности проволоки образуются наплывы, которые увеличивают ее диаметр, что впоследствии увеличит ширину реза и увеличит расход материала;

– для предотвращения образования наплывов на поверхности проволоки обработку необходимо проводить в присутствии охлаждающей жидкости, это может быть обильный полив проточной водой или обработка в ванночке с жидкостью;

– при увеличении напряжения источника питания увеличивается глубина получаемых на поверхности лунок, при увеличении емкости накопительного конденсатора – площадь;

– при обработке с помощью электромеханического вибратора лунки на поверхности проволоки получаются глубже и чище, что обусловлено принудительным выносом расплавленного металла, происходящим благодаря вращению инструмента.

УДК

ОСВОЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАРОК СТАЛЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

Ю. Н. Докудовский, П. В. Бабаньков

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

Цель доклада: постановка на серийное производство конструкционных автомобильных марок сталей в соответствии с требованиями ISO/TS 16949:2009.

Инновационность идеи: создание новой наукоемкой технологии, обеспечивающей промышленное производство высокорентабельной конструкционной стали, предназначенной для изготовления деталей автомобилей ведущих европейских производителей.

Разработанная в рамках проекта программа по освоению автомобильных марок сталей, направлена на достижение следующих целей:

- освоение технологии производства (выплавка, разливка и прокатка) конструкционных марок сталей для автомобильной промышленности;
- производство новых марок сталей с узкими пределами по химическому составу с применением автоматизации технологического процесса внепечной обработки для гарантированного обеспечения требований по полосе прокаливаемости;
- обеспечение требуемых геометрических размеров проката, качества поверхности и упаковки проката стальной лентой;
- организация идентификации и прослеживаемости металла на протяжении всего технологического процесса.

С этой целью были подготовлены стандартные спецификации на производство стали круглой горячекатаной диаметром 90–140 мм из стали марок 16MnCrS5 (селект), 16MnCrS5 X30 по DIN EN 10084, C45 X10, 42CrMo4 X1 по DIN EN 10083.

К основным техническим требованиям были определены следующие дополнительные показатели: соответствующий химический состав стали; качество макроструктуры; чистота стали по неметаллическим включениям; геометрические размеры с суженными допусками; полоса прокаливаемости с суженными значениями твердости (HRC); качество поверхности с жесткими требованиями, практически исключающими абразивную зачистку дефектов; обвязку пакетов проката стальной лентой, в отличие от обвязки пакетов до настоящего времени катанкой; проверку идентичности всех прутков путем эмиссионной спектроскопии.

Выводы

По результатам проведенной работы получены следующие показатели:

1. Значение прокаливаемости и твердости, полученные на опытных плавках, полностью соответствуют требованиям спецификаций.
2. Размер аустенитного зерна на опытной плавке на двух образцах составил 7,5 баллов, что удовлетворяет требованиям спецификации.
3. Суммарное значение неметаллических включений по методу *K* составило 3 единицы, что удовлетворяет требованию спецификации – не более 20 единиц.

4. Исследования макроструктуры опытных плавок показали удовлетворительный результат.

5. В макроструктуре представленных темплетов не выявлено усадочной раковины, рыхлостей, пузырей, расслоений, внутренних трещин, шлаковых включений и флокенов.

УДК

**ВЫБОР ДЕОКСИДАНТА ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ
ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ТРУБ В УСЛОВИЯХ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ
ХОЛДИНГА «БМК»**

А. И. Товстелёва, А. В. Венгура

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

Цель работы – улучшение качества – внутренней поверхности горячекатаных бесшовных труб в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

Иновационность идеи: использование нового деоксиданта на основе триполифосфата натрия, обеспечивающего более полное раскисление окалины внутренней поверхности гильзы по сравнению с промышленно используемым деоксидантом на основе тетрабората натрия, что позволит улучшить качество внутренней поверхности труб, снизить отсортировку по несоответствующей продукции трубопрокатного цеха ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «БМК», а также повысить стойкость оправок непрерывно-раскатного стана, дорогостоящего инструмента.

Ожидаемый экономический эффект: использование деоксиданта на основе триполифосфата натрия позволит улучшить качество внутренней поверхности труб, снизить отсортировку по несоответствующей продукции трубопрокатного цеха ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания», а также повысить стойкость оправок непрерывно-раскатного стана, дорогостоящего инструмента, что приведет к снижению себестоимости продукции ТПЦ.

Краткая основная информация из содержания доклада:

1. Влияние окалины, образующейся на внутренней поверхности гильзы при прошивке трубной заготовки, на смазку при прокатке горячедеформированных бесшовных труб.

2. Сравнительный анализ по основным технологическим параметрам при производстве труб, а также по качеству внутренней поверхности труб при использовании различных деоксидантов.

3. Выбор деоксиданта, обеспечивающего получение удовлетворительного состояния внутренней поверхности труб.

Выводы

В результате проведенной научно-исследовательской работы определены эксплуатационные характеристики опытного деоксиданта на основе триполифосфата натрия, определены преимущества по сравнению с промышленно используемым деоксидантом на основе тетрабората натрия.

УДК

АНАЛИЗ ПРИЧИН НИЗКОЙ СТОЙКОСТИ ПРОШИВНЫХ ОПРАВОК

Д. С. Кишкевич, С. В. Авдеев

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

Цель доклада: получение стабильно высокой износостойкости водоохлаждаемых изнутри оправок при прошивке заготовок из углеродистых и легированных сталей.

Инновационность идеи: Разработка новой технологии производства прошивных оправок в значительной мере позволит повысить качество внутренней поверхности труб, производительность процесса прошивки и, в конечном итоге, себестоимость выпускаемой продукции.

К прошивной оправке предъявляются повышенные требования и технология производства прошивных оправок должна гарантировать получение продукта, обеспечивающего высокую стойкость. Оправка является наиболее изнашиваемым инструментом прошивного стана. Во время работы она подвергается длительному циклическому воздействию высоких температур (носик разогревается до 800...1100 °С), скольжению деформируемого металла относительно оправки со скоростями до 1,0 м/с при больших давлениях. Проблема низкой износостойкости прошивной оправки обусловлена экстремальными силовыми и тепловыми условиями ее эксплуатации.

Совместно с кафедрой «Материаловедение в машиностроении» БНТУ была проведена работа по выявлению причин низкой стойкости прошивных оправок. В процессе работы были проведены следующие исследования:

1. Анализ факторов влияющих на стойкость прошивных оправок.
2. Фазовый, микродюрOMETрический и металлографический анализы, а также определение остаточных напряжений на прошивных оправках различных производителей.

Выводы

По результатам работы были выявлены факторы, обуславливающие низкую стойкость прошивных оправок:

- наличие обезуглероженного слоя, непосредственно контактирующего с защитным оксидным слоем;
- недостаточная горячая твердость стальной основы оправки;
- отсутствие в ряде случаев металлургической связи оксидного слоя с металлической основой, наличие отслаивания оксидного слоя, обусловленное внутренними напряжениями;
- относительно низкие защитные свойства оксидного слоя системы FeхOу при избыточной (в ряде случаев) общей толщине;
- недостаток или отсутствие в стальной подложке и защитном слое специальных легирующих элементов, обеспечивающих устойчивое воспроизведение защитного слоя при работе прошивки.

Решающее значение на длительную устойчивую работу прошивной оправки оказывает промежуточный слой. Он обеспечивает защиту от схватывания и воспроизводство защитного слоя в процессе работы.

Высокая стойкость прошивных оправок с легированным оксидированным покрытием, прочно сцепленным с основой, может быть достигнута с помощью комплексной термической обработки с последующим оксидированием.

УДК 666.943:628.4.046:574.

ВОПРОСЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ, БЕЛАРУСИ, РОССИИ

Д. И. Левицкий, И. А. Лапшин

Государственное учреждение образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

В связи с катаклизмами, катастрофами природного и техногенного характера перед государствами мира возник вопрос о сохранности природных ресурсов. В работе объектом исследований является возможность использования шлаков и гипсосодержащих отходов (фосфогипса) при производстве цемента. Цель работы – провести анализ предприятий, использующих промышленные отходы в России, Беларуси, Украине при производстве цемента, перспективы дальнейшего развития данных производств.

В процессе работы анализировалась имеющаяся литература и служебная документация, проводились теоретические исследования по результатам аналитической документации.

Основные пути решения проблемы можно условно разделить на следующие направления:

– активное использование вторичных материалов – применение инновационных технологий, разработанных и заимствованных, по переработке промышленных отходов;

– создание перерабатывающих предприятий – количество и мощность согласно потребностям переработки отходов страны;

– модернизация устаревшего оборудования по принципу «безотходных предприятий».

Шлак (как и фосфогипс) – это материал, который практически неисчерпаем, по сравнению с природными ресурсами. При этом по технологическим качествам отходы зачастую превосходят руды, добываемые из недр. При устойчивом росте мировой добычи полезных ископаемых лишь 10 % сырья, извлекаемого из недр, превращается в готовую продукцию, остальные 90 % – это отходы, загрязняющие окружающую среду [1]. Такие факторы, как их дешевизна, доступность, повышение качества готовой продукции, сыграли большую роль в развитии технологий и производств, использующих отходы в разных странах мира.

Таким образом, актуальность проблемы обеспечения переработки бытовых и промышленных отходов обусловлена не только вопросами сохранения природных ресурсов, удешевления продукции, но и устойчивыми тенденциями ухудшения экологии. Население Республики Беларусь, как и других стран СНГ, подвергается более высоким рискам заболеваемости в результате ухудшения экологии, чем население большинства развитых стран мира. Важнейшая задача, заключается в обеспечении защиты населения от риска заболеваемости, освобождении территории от промышленных отходов.

Оценивая технико-экономическую эффективность проблемы по переработке отходов шлака и фосфогипса по внедрению их в цементную промышленность в Беларуси, Украине, России, видно, что она еще находится в стадии развития, по сравнению со странами западной Европы, где технологии, накопленные десятилетиями, эффективно используются в экономике.

Л и т е р а т у р а

1. ОАО «КамАЗ-Металлургия», II венчурная ярмарка, Татарстан 11 июля 2007 г.

УДК 548.24

ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ МАГНИТНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ Ni_2MnGa С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ ОТПЕЧАТКА ПИРАМИДЫ ВИККЕРСА

О. М. Остриков, Е. В. Шматок

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

Магнитные материалы с памятью формы (сплавы Гейслера) благодаря своим уникальным физическим свойствам находят все более широкое практическое применение. Эти материалы открывают новые возможности для технологий миниатюризации изделий. Особенности пластической деформации и разрушения сплавов Гейслера в настоящее время изучены не достаточно полно. С практической точки зрения представляет интерес изучение реакции данных материалов на локальное упругопластическое деформирование, которому они подвергаются в процессе эксплуатации.

Целью данной работы стало изучение особенностей пластической деформации и разрушения монокристаллов Ni_2MnGa при микроиндентировании поверхности алмазной пирамидой Виккерса прибора ПМТ-3 в диапазоне нагрузок на индентор от 0,5 до 2,0 Н.

Деформационная картина, возникающая на поверхности (100) монокристалла Ni_2MnGa , находящегося в мартенситной и аустенитной фазе, показана на рис. 1.

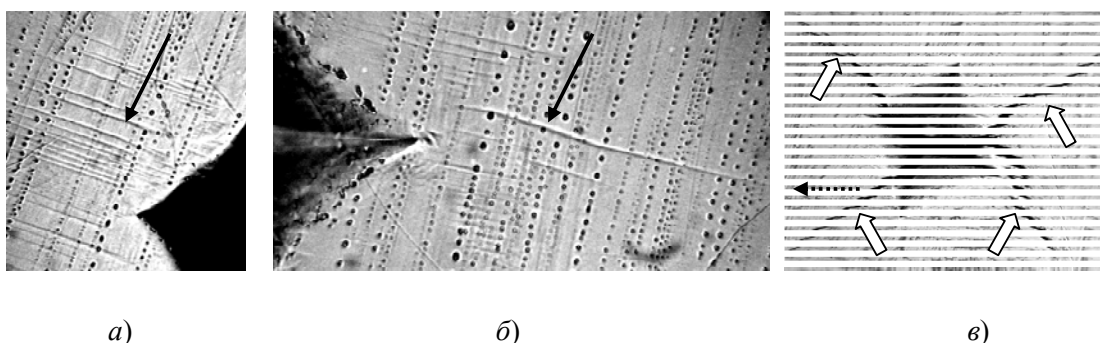


Рис. 1. Деформационная картина на поверхности (100) монокристалла Ni_2MnGa у отпечатка пирамиды Виккерса в мартенситной (а, б) и аустенитной (в) фазе (сплошной черной стрелкой показаны линзовидные двойники; пунктирной – следы скольжения; белой – трещины)

Особенностью деформационной картины у отпечатка индентора на поверхности (100) монокристалла Ni_2MnGa , находящегося в мартенситной фазе, является наличие систем параллельных друг другу тонких линзовидных двойников (рис. 1, а, б). В случае деформирования поверхности аустенитного кристалла у отпечатка индентора двойники отсутствуют, но наблюдаются образующие квадрат следы скольжения и развивающиеся в четырех направлениях трещины (рис. 1, в). Системы линзовидных двойников у отпечатка индентора, как правило, группируются в двух-трех областях. Зарождение данных двойников происходит вдали от области контакта индентора с материалом. Длина двойников в группе может существенно отличаться (рис. 1, б).

Зарождение трещин активно в аустенитном монокристалле Ni_2MnGa , особенно после многократного прохождения циклического возвратно-поступательного перемещения в нем границы раздела аустенит/мартенсит.

Авторы благодарят научного руководителя научно-производственного подразделения «AdaptaMat» (Финляндия, Хельсинки) А. Л. Созинова за любезно предоставленные образцы.

УДК 548.24

ОСОБЕННОСТИ ДВОЙНИКОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВИСМУТА ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ДОЗИРОВАННОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ (111) ИНДЕНТОРОМ ВИККЕРСА ПРИ НАГРУЗКАХ ВЫШЕ 1,0 Н

О. М. Остриков, О. В. Савченко

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

Механическое двойникование кристаллов является одним из основных каналов пластической деформации. Процессы зарождения и развития двойников аналогичны процессам бездиффузионных фазовых превращений в материалах с памятью формы. Поэтому исследование двойникования перспективно для развития технологий этих материалов, обладающих уникальными важными для практики физико-механическими свойствами.

Монокристаллический Вi является хорошим модельным материалом для всестороннего изучения двойникования деформируемых твердых тел и совершенствования методов исследований этого явления. Главными достоинствами Вi является его низкая температура плавления, что не требует высокой технологичности оборудования для выращивания монокристаллов; двойникование в Вi активно при комнатных температурах, что исключает необходимость создания специальных условий деформирования кристаллов для активизации в них процесса двойникования.

Целью данной работы стало исследование особенностей двойникования в монокристаллах висмута при деформировании их плоскости спайности (111) алмазной пирамидой Виккерса при нагрузках на индентор выше 1,0 Н.

Фрагменты деформационной картины у отпечатков индентора на поверхности (111) монокристаллов Вi, характеризующие особенности пластической деформации приповерхностных слоев, показаны на рис. 1.

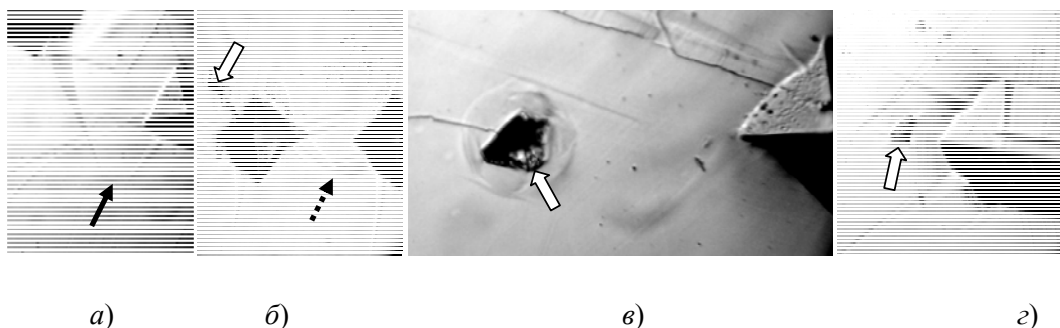


Рис. 1. Особенности деформационной картины у отпечатков пирамиды Виккерса на поверхности (111) монокристаллов Вi (сплошной черной стрелкой показан линзовидный двойник, сформировавшийся у вершин клиновидных двойников; пунктирной – слияние вершин клиновидных двойников разных кристаллографических направлений; белой – следы выкрашивания)

При нагрузках на индентор выше 1,0 Н наблюдается зарождение линзовидных двойников вдали от отпечатка индентора (рис. 1, а). При близком расположении друг к другу отпечатков индентора наблюдается слияние двойников разных кристаллографических направлений (рис. 1, б). При высоких нагрузках на индентор наблюдается выкрашивание материала в области деформирования (рис. 1, б, в, з). Такое выкрашивание часто наблюдается вдали от отпечатка индентора и сопровождается двойникованием (рис. 1, в, з).

УДК 621.762

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ОБРАТНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Н. В. Иноземцева., М. И. Лискович

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

Целью исследований являлось определение температуры в зоне деформации между слоями при плакировании обратным выдавливанием.

В результате исследований была получена расчетная формула для данной температуры в зоне деформации [1], [2]:

$$T = T_0 + \frac{t_\delta (A_T + A_n) \dot{\epsilon}}{\pi d \left(c_0 \rho_0 h_0 \left(1 + t_\delta v_n - \frac{2h_0}{3d} \right) + c_2 \rho_2 t_\delta \frac{d}{4} v_n \right)}. \quad (1)$$

Экспериментальное исследование температуры проводилось при помощи трех хромель-копелевых термопар, зачеканенных через латунные полусферические вставки радиусом 1 мм в торцевую часть прошивного пуансона, проведенные внутри его и присоединенные к регистрирующей величину температуры аппаратуре [2]. Результаты исследований приведены на рис. 1.

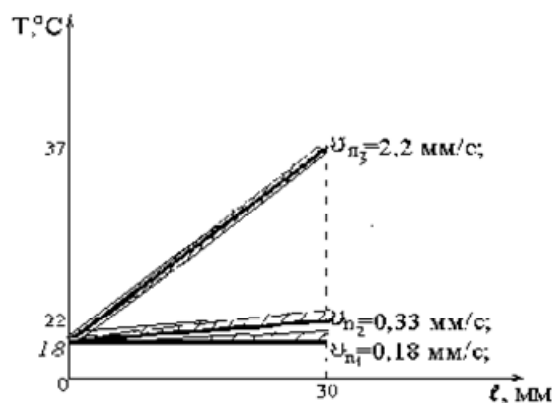


Рис. 1. Зависимость величины температуры в зоне соединения T от величины перемещения пуансона l при разных скоростях деформирования v_n

Для условий эксперимента проведен теоретический расчет по формуле (1) с целью проверки согласования теории и эксперимента. На рис. 1 указаны поля до-

верительных интервалов на экспериментальных зависимостях, в которых находятся расчетные значения температур. В результате получено, что погрешность расчета составила около 6 %, что подтверждает обоснованность использования формулы (1) для определения температуры в зоне деформации и соответствует требованиям инженерных расчетов.

Таким образом, была теоретически получена формула для температуры в очаге деформации при обратном выдавливании; проводилась также экспериментальная проверка температуры, которая показала обоснованность использования теоретической зависимости.

Л и т е р а т у р а

1. Селивончик, Н. В. Разработка критерия получения соединения покрытия с основой при плакировании обратным выдавливанием / Н. В. Селивончик, Ю. Л. Бобарикин // Материалы, технологии, инструменты. – 2002. – Т. 7. – № 3. – С. 33–37.
2. Бобарикин, Ю. Л. Определение интенсивности сдвиговой деформации и температуры в очаге деформации при плакировании обратным выдавливанием / Ю. Л. Бобарикин, В. Ф. Буренков, Н. В. Иноземцева // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – Т. 11. – № 2. – С. 39–43.

УДК 621.778.073

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СВИВКИ МЕТАЛЛОКОРДА

С. В. Авсейков, М. Н. Верещагин, Ю. Л. Бобарикин

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

Аналитическое и экспериментальное определение параметров напряженно-деформированного состояния проволоки при свивке в металлокорд чрезвычайно затруднено в связи с высокой степенью сложности схемы пространственной деформации проволок при свивке.

Использование метода конечных элементов для численного моделирования позволяет описывать процесс свивки металлокорда с учетом деформационной и геометрической нелинейности, скорости деформации и контактного трения между проволоками корда. Напряженно-деформированное состояние объема проволоки V рассматривается в трехмерной постановке в декартовой системе координат (рис. 1).

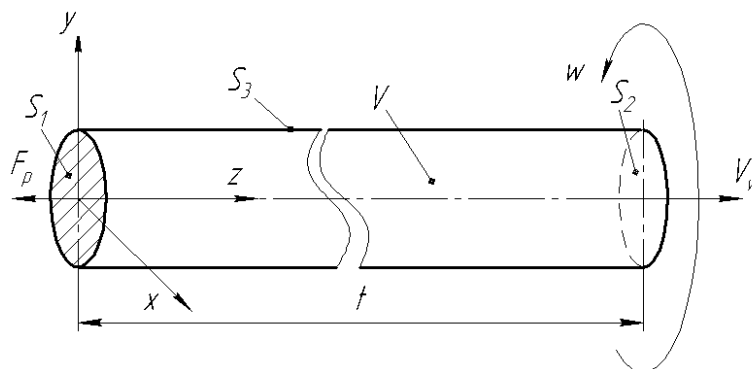


Рис. 1. Геометрическая модель и граничные условия

На рис. 1 изображены область проволоки, равная шагу свивки (t), и граничные условия. В направлении оси Z проволока имеет длину, во много преувеличивающую очаг деформации, поэтому за очаг деформации (основной участок концентрации НДС) принимаем фрагмент проволоки, равный шагу (t) металлокорда. Пространственная постановка задачи допускает скольжение свиваемых проволок в процессе свивки относительно друг друга вдоль оси металлокорда, что соответствует реальным условиям свивки.

Конечно-элементная модель проволоки V своей правой частью ограничена и прикреплена к поверхности S_2 с заданными на ней перемещениями $U(w, V_w)$, которые передаются от узлов канатной машины в процессе свивки проволоке. К противоположной стороне модели на поверхности S_1 приложена сила, равная усилию торможения на питающих катушках F_p .

Таким образом, задача сводится к определению напряженно-деформированного состояния объема проволоки при кручении с изгибом в пространственной постановке с учетом контактного взаимодействия с другими проволоками. Решение задачи представляется возможным при следующих основных упрощениях:

1. Материал проволоки принят сплошным, несжимаемым, изотропным и упруго-пластичным.

2. Принимаем, что пластическая деформация металла проволоки приводит к увеличению предела упругости при повторной деформации того же знака и уменьшению его при повторной деформации противоположного знака (эффект Боушингера) [2].

3. Предполагается, что площадь контакта между телами в поперечном сечении мала по сравнению с их размерами и не изменяется при деформации. А при распространении зоны контакта по длине проволоки ее вид представляет собой объемную спираль. Тогда в рамках конечно-элементного представления контакт между телами рассматривается как узел, принадлежащий двум проволокам одновременно [3]. Принята модель трения Кулона с коэффициентом контактного трения $f = 0,115$ [4].

Для описания соотношения деформаций и напряжений в проволоке выбрана упругопластическая модель Мизеса – модель пластичности с пределом текучести в виде мультипликативной зависимости, учитывающая деформационное пластическое упрочнение и эффект Боушингера [5].

Выводы

Численный анализ напряженно-деформированного состояния проволок металлокорда в процессе свивки с использованием метода конечных элементов позволяет описывать изменение напряженно-деформированного состояния в процессе свивки металлокорда. Численное описание процесса свивки металлокорда позволит прогнозировать изменение технологических параметров производства металлокорда при изменении механических характеристик стальной латунированной тонкой проволоки перед свивкой и при изменении условий свивки.

Литература

1. Erdem Imrak, C. On the problem of wire rope model generation with axial loading / C. Erdem Imrak, Cengiz Erdonmez // Mathematical and Computational Applications. – 2010. – Vol. 15. – P. 259–268.
2. Аркулис, Г. Э. Теория пластичности : учеб. пособие для вузов / Г. Э. Аркулис, В. Г. Дорогобид. – М. : Металлургия, 1987. – 352 с.
3. Емельянов, И. Г. Модель напряженного состояния стального каната / И. Г. Емельянов // Сталь. – 2001. – № 10. – С. 50–52.
4. Jiang, W. G. The analysis of termination effects in wire strand using finite element method / W. G. Jiang, J. L. Henshall // Journal of Strain Analysis. – 1999. – P. 31–38.

5. Кукуджанов, В. Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций : учеб. пособие / В. Н. Кукуджанов. – М. : МФТИ, 2008. – 215 с.

УДК 537.533.35

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

И. А. Панкратов, И. Н. Степанкин

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

Введение

Современные технологии позволяют получать различные по своим функциональным возможностям упрочненные слои, на их характеристики оказывает влияние метод и технология их синтеза. Одинаковые слои, полученные различными способами, могут отличаться между собой по свойствам. Их определение по критерию контроля функциональной пригодности упрочненной детали является актуальной задачей ресурсного проектирования машин. Наиболее прогрессивными способами оценки характеристик тонких слоев являются методы определения динамической микротвердости с записью кривой «нагрузка–глубина внедрения» [1] и наноиндентирование [2]. Современные подходы функционального упрочнения деталей машин диктуют необходимость значительного расширения свойств рабочих поверхностей деталей с целью их адаптации к конкретным условиям эксплуатации. Поэтому важной практической задачей является разработка неразрушающих методик определения свойств модифицированных слоев с использованием атомно-силовой микроскопии.

Материалы и методы исследования. Для определения модуля упругости покрытий использовали наноизмерительный комплекс (атомно-силовой микроскоп) NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь). В качестве объекта исследований выбраны стали ледебуритного класса (X12M и P6M5) с диффузионным упрочнением поверхности.

Диффузионное упрочнение поверхности проводили посредством борирования в порошковой среде.

Для оценки модуля упругости регистрировали скачкообразное изменение фазы колебаний пьезоактюатора. Методика основана на закономерности, в соответствии с которой изменение фаз кантилевера пропорционально различию упругих характеристик исследуемых материалов [3]. Модуль упругости определяли на модифицированных слоях TiN и FeV, нанесенных на образцы из сталей X12M и P6M5.

Выводы

Применение изложенной выше методики позволило определить значение модуля упругости покрытий. Существенное влияние на результаты оценки модуля упругости оказывает частота колебания пьезоактюатора и его жесткость. Экспериментальные данные, полученные на различных зондах при варьировании опорной частоты кантилевера, показали, что Модуль Юнга покрытия на основе TiN составил порядка 600 ГПа, модуль упругости покрытия на основе FeV – 550 ГПа, что совпадает со справочными данными и показывает достоверность предложенного метода.

Показана возможность определения модуля упругости тонких поверхностных слоев путем сравнительной оценки результатов атомно-силового анализа материала.

Литература

1. Булычев, С. И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С. И. Булычев, С. И. Алехин. – М. : Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Fischer-Cripps, A. C. Nanoindentation, 2nd Ed. – New York, Springer-Verlag, 2004. – 264 p.
3. Чижик, С. А. Трибомеханика прецизионного контакта (сканирующий зондовый анализ и компьютерное моделирование) : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Чижик. – Гомель, 1998.

УДК 620.178.3

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ УСТАЛОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5

И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков

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

Исследован механизм разрушения материала экспериментальных образцов из быстрорежущей стали Р6М5 в условиях контактного воздействия на поверхность материала.

С целью оценки возможности повышения контактной выносливости материала исследовали образцы без упрочнения и упрочненные посредством низкотемпературной нитроцементации. Технологические режимы формирования упрочненного слоя предполагали применение криогенной обработки для получения высоколегированного мартенсита, обеспечивающего высокую жесткость материала матрицы за счет отсутствия в структуре остаточного аустенита. Криогенную обработку осуществляли в жидком азоте на различных этапах термической обработки образцов. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое материала при многократном контактном воздействии на него исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ. Регистрировали глубину лунки, возникающей в зоне контактного взаимодействия исследуемой поверхности образца с поверхностью контртела. В соответствии с условиями испытания трение между образцом и контртелом отсутствовало. Для устранения адгезионных процессов поверхность испытуемых образцов перед каждым циклом нагружения подвергалась принудительной смазке окупанием.

В результате испытаний экспериментальных образцов получены семейства кривых (рис. 1), отражающих характер увеличения глубины лунки контактного износа при воздействии на него пульсирующей контактной нагрузки амплитудой 1280 МПа.

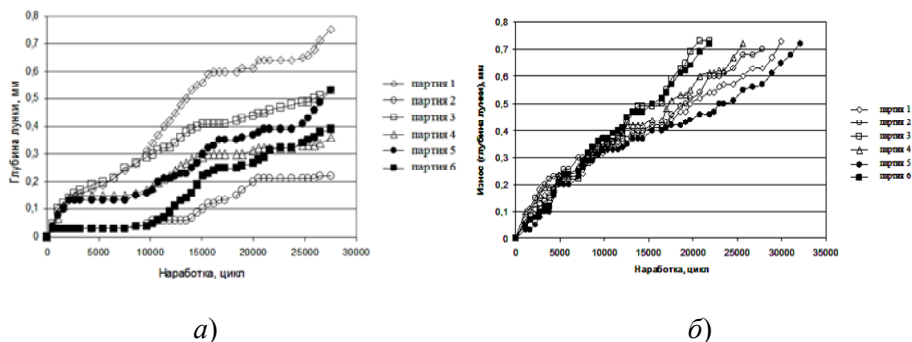


Рис. 1. Семейства кривых:
а – образцы без упрочнения; б – образцы, упрочненные посредством низкотемпературной нитроцементации

Как видно из рисунка, контактная выносливость образцов из стали Р6М5 без упрочнения существенно отличается. Это объясняется структурными различиями, которые сформированы за счет применения криогенной обработки на различных стадиях термической обработки образцов. Наибольшей контактной усталостью обладают образцы с максимальной степенью гомогенизации структуры материала матрицы.

Применение низкотемпературной нитроцементации обеспечивает сближение характеристик внутрикристаллической пластичности матричного материала. Контактное изнашивание всех образцов мало зависит от различий в режимах их предшествующей термической обработки и отражается схожими закономерностями. Но механизм зарождения питтингов в образцах с карбонитридным слоем характеризуется постепенным отслаиванием тонких фрагментов металла, что обеспечивает хорошую прирабатываемость деталей. При этом образцы без упрочнения, отличающиеся повышенной контактной выносливостью по сравнению с упрочненными, по достижении некоторого порогового значения подвергаются ускоренному разрушению с формированием глубоких поверхностных дефектов.

УДК 621.785.52

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

И. Н. Степанкин, В. М. Кенько

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

Целью работы было исследование возможности формирования поверхностных диффузионно-упрочненных карбидных слоев на рабочих поверхностях штамповой оснастки из стали Р6М5, адаптированных к условиям работы инструмента, путем управления технологическими режимами их синтеза.

Исследования проводились на образцах из стали Р6М5, подвергнутых традиционной обработке – закалке с температуры 1220 °С с трехкратным отпуском при 560 °С, и науглероженных, закаленных непосредственно после цементации с различных температур и подвергнутых также трехкратному отпуску при 560 °С. Цементацию осуществляли в среде природного газа (метана) при температуре 950 °С в течение 8 ч. Влияние температуры закалки науглероженных образцов на структурные превращения и свойства стали исследовали в диапазоне температур 950...1150 °С. Металлографический анализ диффузионных слоев проводили на электронном микроскопе TESCAN и рентгеновском дифрактометре ДРОН-7. Численные исследования напряженного состояния образцов и оснастки осуществляли посредством метода конечных элементов, а экспериментальную проверку уровня внутренних напряжений, возникающих при термической обработке – путем измерения стрелы прогиба, возникающей при послойном травлении одной из поверхностей науглероженного пластинчатого образца.

Металлографическими исследованиями установлено, что в результате цементации стали Р6М5 поверхностные слои образцов насыщаются углеродом до 1,6...1,8 %, при этом в них увеличивается количество карбидов типа M_6C и $M_{23}C_6$, которые являются основными источниками насыщения аустенита углеродом и легирующими элементами при закалке. После закалки образцов с температуры 1220 °С и отпуска твердость их составляет 62...63 HRC₃. Твердость поверхности науглероженных об-

разцов после закалки и трехкратного отпуска при 560 °С составляла 65...66 HRC₃, независимо от температуры закалки в диапазоне 950...1150 °С. Однако твердость сердцевины отличалась от 55...57 HRC₃, при закалке на 12 балл, зерна до 62...63 HRC₃, при закалке на 10 балл. Градиент свойств является следствием градиента структуры и карбидного состава по глубине образцов.

Насыщение поверхности углеродом приводит к снижению температуры начала мартенситных превращений в поверхностном слое, вследствие чего мартенситные превращения при закалке начинаются сначала в глубинных слоях, а затем в поверхностном слое, что приводит к возникновению у поверхности сжимающих напряжений, способствующих повышению сопротивления усталостному разрушению материала. Величина напряжений с увеличением температуры закалки возрастает вплоть до самопроизвольного отслоения упрочненного слоя. Полученные результаты показывают, что путем изменения температуры закалки оснастки из быстрорежущей стали Р6М5 с науглероженными рабочими поверхностями можно регулировать градиент свойств по глубине. Зная характер напряженно-деформированного состояния в процессе эксплуатации конкретного штампового инструмента можно выбрать оптимальный температурный режим его термообработки, обеспечивающий максимальную стойкость. Предложенная технология внедрена на крупнейших машиностроительных предприятиях Гомельской области. Существенно увеличена стойкость холодновысадочной оснастки, применяемой на РУП «ГЗЛиН». В рамках выполнения программы импортозамещения изготавливается штамповая оснастка для РУП «БМЗ», стойкость которой в 1,6 раза выше импортного аналога. Упрочнены чеканочные штампы для изготовления государственных наград на предприятии РАУП «ГПО КРИСТАЛЛ» филиал «Завод ЮВЕЛИР».

УДК 621.771

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ И НОМИНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ТРУБЫ ДЛЯ ПЕРЕХОДОВ ТРЕХВАЛКОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ РАСКАТКИ

А. В. Ткаченко Ю. Л. Бобарикин

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

Одним из основных этапов получения стальных бесшовных труб в трубопрокатном производстве является раскатка черновых заготовок на раскатном стане.

В производстве труб с применением горячей деформации используются различные принципы раскатки прошитых заготовок-гильз с целью получения черновых труб. К основным преимуществам непрерывной раскатки сравнительно с раскаткой на пилигримовых, трехвалковых винтовых, автоматических реверсивных, речных станах относится высокая скорость прокатки, возможность прокатки труб большой длины (до 33 м), возможность автоматизации прокатки, минимальные технологические отходы. Раскатка осуществляется одновременной деформацией стенки трубы между оправкой и прокатными валками в нескольких прокатных клетях, обеспечивающей равномерное обжатие стенки трубы.

Наиболее широкое распространение в современной практике получил процесс раскатки заготовок на раскатном стане, в котором процесс деформации осуществляется двумя рабочими валками круглого или овального профиля. Недостатки двух-

валковой раскатки: повышенная неравномерность толщины стенок трубы, большое количество клетей (свыше 5).

Перспективным направлением продольной раскатки является применение трехвалковой схемы. Использование при раскатке трехвалковой схемы продольной прокатки способствует повышению точности размеров диаметра и стенки трубы, повышает равномерность деформации, что снижает анизотропию свойств металла трубы и повышает его качество, позволит достичь равномерной толщины стенок готовой трубы, используя до 5 рабочих клетей.

Принципиальная схема горячей деформации трубы непрерывной раскаткой в трехвалковых клетях продольной прокатки на удерживаемой оправке представлена на рис. 1.

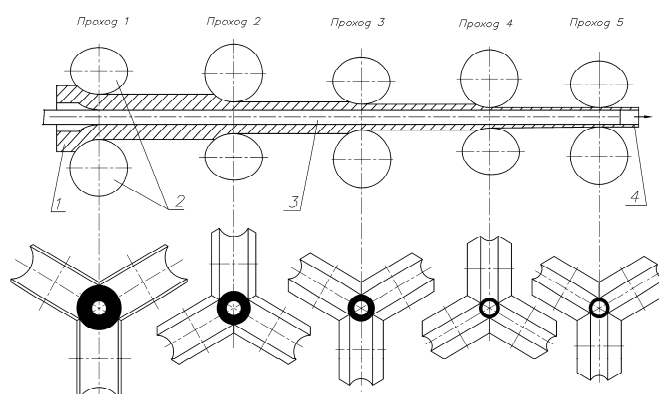


Рис. 1. Принципиальная схема раскатки:

1 – заготовка (гильза); 2 – прокатные валки; 3 – оправка; 4 – раскатанная труба

В настоящее время недостаточно изучены процессы деформации труб в трехвалковых станах. Требуют разработки и научного обоснования режимы прокатки, а также выбор и расчет оптимальных размеров и форма калибров.

Предложена расчетная схема деформационных параметров стенки трубы и номинальных размеров профиля трубы для переходов трехвалковой прокатки.

УДК 621.77 + 621.992.7

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ВИНТОВОГО ПРОФИЛЯ

С. А. Щербаков

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

Винтовой профиль в сопрягаемых деталях применяют для преобразования вращательного движения в поступательное, или наоборот, с выигрышем в силе или скорости требуемых преобразований. Внутренний винтовой профиль с углом наклона к оси $90^\circ > \alpha > 80^\circ$ обеспечивает самотормозящие свойства резьбовых соединений и преобразует только вращательное движение в поступательное. При углах $10^\circ > \alpha > 0^\circ$ преобразованию поддается только поступательное движение во вращательное. Изготовление такого внутреннего винтового профиля, особенно в глубоких отверстиях с малыми поперечными размерами, связано со многими трудностями.

Известны способы изготовления внутреннего винтового профиля в заготовках с осевыми отверстиями на профильной оправке с помощью: радиально-ковочной машины, всестороннего пульсирующего бокового обжатия с помощью молотов, ротационной ковки, равномерного обжима со всех сторон волочением. Все перечисленные способы, за исключением последнего, предполагают воздействие на заготовку динамических нагрузок, которые передаются на профильную оправку и снижают ее точность и стойкость. Применение профильной оправки и волочения для обжима обеспечивает получение изделий с внутренними поверхностями высокого качества при упрочнении и улучшении макроструктуры материала. Но при этом возникает необходимость больших усилий на преодоление сил трения, возникающих в зоне обжима заготовки конусной матрицей. Процесс волочения предполагает вытягивание из матрицы готового профиля, а разные прочностные характеристики материалов оправки и заготовки обуславливают разные упругие деформации в них, следовательно, после волочения заготовка и оправка будут иметь разные размерные характеристики. Что вызывает большие силы и затруднения при их разъединении. Это влияет на точность и производительность образуемых поверхностей.

Для устранения недостатков существующих способов предлагается всесторонний и равномерный обжим заготовки на профильной оправке производить с помощью устройства, подобному устройству для накатки шлицев для шлиценакатного станка, содержащего корпус с рабочим отверстием, вокруг которого монтируются сегменты с расположенными на осях профильными роликами.

Точность и производительность изготовления заготовок с внутренним винтовым профилем обеспечивается за счет того, что исходную заготовку с осевым отверстием устанавливают на профильную оправку и обжимают одновременно со всех сторон в устройстве (в виде профильной роликовой волоки) с расположенными под углом роликами, имеющими деформирующий профиль, соответствующий наружному профилю изделия, а площадь сечения в зоне пластического деформирования исходной заготовки должна быть не меньше площади сечения изделия. Основным является винтовое движение заготовки. Устройство содержит профильную оправку, располагаемую в рабочем отверстии корпуса, корпус с наклонными пазами для профильных роликов, расположенных вокруг рабочего отверстия на осях, перпендикулярных к пазам корпуса. Оси для роликов располагаются в соответствующих пазах корпуса и закрепляются элементами, монтируемыми на крышке, имеющей пазы для роликов и крепящейся к корпусу.

Замена трения скольжения при волочении на трение качения в зоне обжима позволяет уменьшить рабочее усилие и деформации и значительно повысить скорость обработки без «задиров» трущихся поверхностей.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ШУНТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТОКА ПРИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ

Э. И. Дмитриченко, Г. С. Кульгейко

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

Процесс формирования покрытий магнитно-электрическим упрочнением во многом определяется мощностью разрядов технологического тока. В настоящее время достаточно глубоко исследовано влияние силы технологического тока, опре-

деляющего мощность разрядов, на микроструктуру, физико-механические свойства, сплошность покрытий. Однако при рассмотрении физики процесса МЭУ не в полной мере учитываются второстепенные факторы, которые оказывают относительно небольшое влияние на процесс формирования упрочняющего слоя, но в то же время могут существенно сместить диапазон прогнозируемых показателей свойств покрытий. Эти факторы оказывают влияние на электроразрядные процессы в рабочем зазоре, в том числе и на процесс шунтирования разрядов технологического тока.

Процессы шунтирования разрядов тока по поверхности заготовки и инструмента оказывают влияние на мощность рабочего разряда. При геометрически неодинаковых частицах порошка разряд может происходить по элементам больших размеров, а частицы порошка меньших размеров могут не оплавляться. В результате непроплавленные частицы отслаиваются, появляются лункообразные углубления в покрытии, ухудшается их шероховатость и сплошность. Погрешности формы поверхности детали и инструмента приводят к колебанию величины рабочего зазора, а следовательно, разрядный пробой технологического тока происходит по ближайшему электродному расстоянию. Различные порошковые материалы обладают различной электропроводностью, что также требует изменения и управления технологическим током. Все эти и другие факторы оказывают влияние на характер электрических разрядов в рабочей зоне, что требует определенной коррекции силы подаваемого технологического тока.

В результате теоретических и экспериментальных исследований получены зависимости, позволяющие определить величину технологического тока с учетом расплавления зерен порошка независимо от параметров и формы кривых изменения униполярного тока от времени. Полученные соотношения связывают показатели качества наносимых покрытий с технологическими параметрами, позволяя их оптимизировать при наложении дополнительных условий по выбору технологического тока, геометрических параметров рабочего зазора и зерен применяемого порошка.

УДК 621.923

УСЛОВИЯ КОНТАКТИРОВАНИЯ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА С ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ МАГНИТНО- АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ

М. П. Кульгейко, Е. Э. Дмитриченко

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

Среди большого разнообразия схем магнитно-абразивной обработки имеются схемы и реализующие их устройства, в которых ориентация деталей в рабочей зоне обеспечивается за счет механических ограничителей в виде сферических наконечников. Сферические наконечники контактируют с обработанной поверхностью в условиях трения скольжения, а следовательно, при определенных условиях возможен контакт в зоне пластической деформации микронеровностей. В результате на обработанной поверхности остаются следы от контакта сферического наконечника с поверхностью детали.

Целью настоящей работы является определение условий отсутствия следов контакта ограничителей рабочего зазора с полированной поверхностью детали в соответствующих устройствах для магнитно-абразивной обработки.

Выполнив расчет магнитной системы, находим максимально возможную результирующую силу, с которой обрабатываемая деталь притягивается к сферическим наконечникам вследствие ее ассиметричного расположения в рабочей зоне, и определяем нормальную силу N в зоне трения одного сферического наконечника с деталью.

Далее определяем предельное значение нормальной нагрузки N_1 , при которой выполняется условие упругой деформации в материале детали при взаимодействии сферического наконечника с обработанной поверхностью, и нормальную нагрузку N_2 , начиная с которой в зоне контакта возникают пластические деформации.

Подбирая необходимое количество шпинделей и изменяя радиус сферического наконечника и геометрические параметры рабочей зоны, возможно достижение условия, когда в зоне контакта будет наблюдаться упругая деформация ($N \leq N_1$) или упругая с появлением в зоне контакта микронеровностей пластической деформации ($N_1 < N \leq N_2$), т. е. деформации в пределах высоты микронеровностей.

Установленные зависимости позволяют определить геометрические параметры элементов рабочей зоны устройств для магнитно-абразивного полирования, которые позволяют исключить вероятность появления следов контактирования ограничителей рабочего зазора на полированной поверхности детали.

УДК 543.226: 678.675

АНТИФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Н. В. Грудина

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

О. Р. Юркевич

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

В настоящей работе разработаны антифрикционные композиционные материалы на основе выпускаемых в Республике Беларусь термопластичных полимеров полиамида-6, модифицированного добавками компонентов органической и неорганической природы, и полиэтилентерефталата (лавсана). Материалы предназначены для изготовления изделий триботехнического назначения и получения покрытий, в том числе для восстановления изношенных поверхностей деталей и узлов трения технологического оборудования и транспортной техники.

Базовые полимеры используют в порошкообразном виде и модифицируют различными целевыми добавками, что позволяет получать композиционные материалы, обладающие повышенными технико-экономическими показателями при их переработке и эксплуатации. Введение в состав полиамида-6 низкоплавких компонентов, в частности полиэтилена, позволяет реализовать в процессе трения эффект самосмазывания.

Антифрикционные свойства (коэффициент трения, температура в зоне трения, нагрузочная способность) образцов оценивали на машине трения Смц-2 по схеме испытаний «вал – частичный вкладыш», при скорости трения – 0,5 м/с. Испытания проводили без подвода смазки в зону трения и со смазкой маслом индустриальным марки И-40 и консистентной смазкой марки «Литол-24».

Разработана технология покрытий новыми материалами металлоизделий, в частности из стали, чугуна, алюминия, бронзы и др. Возможно многократное нанесение антифрикционного слоя на поверхности одних и тех же деталей по мере износа покрытия. Ресурс работы стальных деталей с антифрикционными композиционными покрытиями зависит от режимов и условий их эксплуатации, но, как правило, превышает ресурс работы бронзовых и баббитовых элементов пары трения.

Высокая размерная стабильность узлов трения с тонким антифрикционным слоем позволяет в ряде случаев заменять подшипники качения подшипниками скольжения.

Наилучшую работоспособность антифрикционные покрытия и материалы показали при работе в контакте со стальным контртелом в условиях сухого, граничного и жидкостного трения.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Скорость скольжения, м/с	до 2,0
Нагрузка (удельное давление в зоне трения), МПа	до 40
Температурный диапазон эксплуатации, °С	от -40 до +120
Коэффициент трения:	
– без смазки	0,12–0,16
– граничная смазка	0,04–0,08
– жидкая смазка	0,01–0,03
Прочность сцепления со сталью (адгезия), кН/м	до 5

Полученные результаты наглядно свидетельствуют о целесообразности применения в качестве модификаторов полиамидов эпоксидных компаундов в виде порошковых материалов (порошковых красок), широко используемых в технологии защитных покрытий, что позволяет получать материал с низкими значениями коэффициентов трения при работе как без смазки, так и со смазкой различными маслами.

УДК 621.357.74, 621.793

ПОЛУЧЕНИЕ ЧЕРНЫХ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ОКСИДНО-КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ С ПОМОЩЬЮ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

С. В. Пискунов, И. И. Злотников

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

Черные светопоглощающие покрытия применяются в деталях оптики для снижения рассеянного светового фона, микроэлектронике, вакуумной технике, тепловых излучателях, солнечных коллекторах и др. При этом одним из материалов, на которые наносят такие покрытия, является алюминий и его сплавы. Традиционно применяют следующие методы чернения: обработка в специальных растворах, электрохимическое оксидирование с последующим окрашиванием в анилиновых красителях, микродуговое оксидирование (МДО). Однако есть сложности в технологии получения черных МДО-покрытий на алюминиевых сплавах, особенно алюминий-кремниевых сплавах.

В связи с этим целью работы является изучение возможности получения черных светопоглощающих покрытий на алюминиевых сплавах методом микродугового оксидирования.

Процесс МДО алюминиевых сплавов проводили при различных токовых режимах: в симметричном анодно-катодном режиме с использованием переменного тока частотой 50 Гц и импульсном режиме. Плотность тока поддерживалась 2 А/дм^2 , напряжение изменяли в пределах $0-450 \text{ В}$. В качестве рабочих электролитов использовали следующие растворы: силикатно-щелочной и пирофосфатный. Добавкой в электролит для получения черных покрытий служила молибденово-кислая соль в количестве $0,5-5 \text{ г/л}$. Обрабатываемыми деталями служили алюминиевые сплавы Д16 и АК6М2.

В результате полученных экспериментов были получены черные оксидно-керамические покрытия на обоих сплавах. Однако для получения черных покрытий на алюминий-кремниевом сплаве АК6М2 перед началом процесса микродугового оксидирования изделие обрабатывали в растворе, содержащем $94-96 \text{ мас. \%}$ азотной кислоты и $4-6 \text{ мас. \%}$ фтористоводородной кислоты в течение $0,5-1,5 \text{ мин}$. Если предварительно поверхность алюминиевого сплава обработать смесью указанных кислот, то азотная кислота растворит поверхность алюминия, обнажив зерна кремнийсодержащих фаз, а фтористоводородная кислота растворит кремнийсодержащие соединения. В результате этих процессов на поверхности оксидируемой детали практически не остается кремнийсодержащих фаз, и процесс МДО протекает беспрепятственно с образованием однородного покрытия с высокими механическими показателями. На данный способ нанесения покрытий на алюминий-кремниевые сплавы получен патент РБ № 15835.

Наиболее оптимальным токовым режимом для силикатно-щелочного и пирофосфатного электролитов оказался импульсный, конечное напряжение составляло 420 В . При этом увеличение времени оксидирования энергетически необоснованно (более 30 мин) и сопровождается для силикатно-щелочного электролита заметным осаждением диоксида кремния, что приводит к разрыхлению поверхностного слоя покрытия и снижению светопоглощения. Для пирофосфатного электролита характерно то, что толщина черных МДО-покрытий составляла около 20 мкм , что в 4 раза меньше толщины покрытий, полученных в силикатно-щелочном.

Окраска оксидно-керамических покрытий в черный цвет, вероятно, обусловлена синтезом в составе покрытия высокодисперсных оксидов молибдена и комплексных соединений.

УДК 678.742.3

ПРОЦЕССЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ФАЗ В СИСТЕМАХ ПОЛИЭТИЛЕН-СТЕАРИН

Е. В. Шукова, И. В. Царенко

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

Важнейшим представителем класса термопластов является полиэтилен (ПЭ). Полиэтилен обладает ценным комплексом свойств, обеспечивающих изделиям достаточно высокую прочность, стойкость к воздействию агрессивных сред и радиации, нетоксичность, высокие диэлектрические показатели.

Целью данной работы являлось изучение процессов разделения фаз в системах полиэтилен–стеарин.

Изучение фазового равновесия дает наиболее полную информацию о совместимости полимеров и пластификаторов в системах полимер – пластификатор. Совместимость изучали при наполнении пластификатором 0–50 % от массы материала.

Эксперимент выполнялся следующим образом. Тщательно перемешанную смесь компонентов композиции помещали в ячейку. В нее вставляли термopару, подключенную к цифровому вольтметру для измерения температуры. Ячейку нагревали до температуры на 30 °С выше температуры плавления полимера, накрывали теплоизоляционным кожухом и медленно охлаждали, периодически измеряя температуру.

По полученным данным снимали кривые охлаждения, находили критические температурные точки и строили на основании полученных данных диаграмму фазовых превращений (рис. 1).

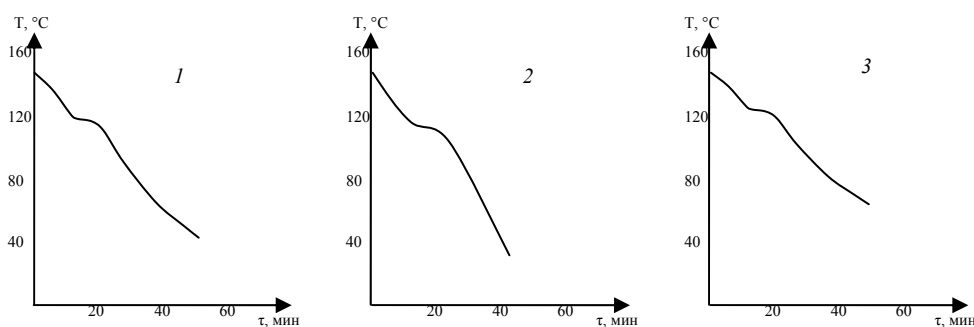


Рис. 1. Кривые охлаждения систем полиэтилен-стеарин:
1 – пэ + 20 % стеарин; 2 – пэ + 40 % стеарин; 3 – пэ + 50 % стеарин

По мере добавления пластификатора температура начала фазовых превращений снижается. Анализ диаграмм свидетельствует о наличии фаз типа твердых растворов.

При охлаждении расплава композиций на основе полиэтилена происходит частичная кристаллизация. Присутствие аморфной и кристаллической фаз определяет наличие вязкой и упругой составляющих комплексного модуля упругости материала.

Для систем ПЭ–стеарин область разделения фаз располагается по температуре значительно ниже, в интервале температур 124–134 °С наблюдается полная взаимная растворимость компонентов.

При 25%-ном содержании пластификатора (стеарина) наблюдается наибольшее относительное удлинение и предел прочности при испытании на разрыв. При концентрации 20–30 % пластификатора достигается максимальное значение степени кристалличности. Дальнейшее увеличение концентрации стеарина влечет за собой снижение указанных характеристик.

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ШНЕКОВ ПОДАЧИ ТОПЛИВА КОТЛОАГРЕГАТА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

Г. В. Петришин

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

Е. Ф. Пантелеенко

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Шнеки являются распространенными элементами для подачи топлива и удаления золы в энергетических установках, работающих на местных видах топлива, преимущественно торфе или древесной щепе. При этом ввиду загрязнения такого топлива абразивными примесями происходит повышенный износ витков шнеков и их постепенный отказ, что приводит к необходимости за один отопительный сезон менять 2–3 комплекта шнеков. В настоящее время данная проблема решается, в основном, путем нанесения на их рабочие поверхности износостойких покрытий, преимущественно электродуговых покрытий из сормайта. Данные покрытия повышают срок службы шнеков до 2-х раз, однако являются дорогостоящими и зачастую сопоставимы по цене с изготовлением нового изделия. В настоящее время известно успешное изготовление новых диффузионно-легированных самофлюсующихся материалов на железной основе при нанесении износостойких покрытий газопламенным, индукционным, магнитно-электрическим и другими методами наплавки и напыления. При этом исследования по влиянию технологических режимов наплавки покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков на основе чугунной дроби на их свойства не проводились. Целью данной работы являлась разработка технологических режимов нанесения электродуговых покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков на основе чугунной дроби для максимального повышения срока службы шнеков котлоагрегата, работающего в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания.

Покрытия наносились угольным и вольфрамовым электродами диаметром 8 и 2 мм, соответственно, электродуговым методом с использованием сварочного выпрямителя ВДУ-500 при силе тока 50...170 А. В качестве наплавочных материалов использовались самофлюсующиеся порошки собственного производства и сормайт. Микротвердость покрытий исследовалась на микротвердомере ПМТ-3М. Исследования на ударно-абразивное изнашивание проводились на установке ударно-абразивного изнашивания собственной конструкции. В качестве эталона использовались образцы из стали Ст3 в состоянии проката.

Проведенные исследования показали, что применение самофлюсующихся порошков на железной основе позволило существенно повысить твердость и износостойкость наносимых покрытий по сравнению с традиционно применяемым сормайтом. Относительная износостойкость электродуговых покрытий из борированных порошков составила 3,0...3,5, из сормайта – 1,7...2,0. В работе приведены рекомендуемые технологические режимы нанесения электродуговых покрытий из самофлюсующихся порошков на основе чугунной дроби. Установлено, что при использовании порошков на основе чугунной дроби максимальную микротвердость и износостойкость покрытий обеспечивает плотность мощности наплавки $17,0...17,5 \cdot 10^3$ Вт/см². Максимальную производительность процесса при высокой износостойкости покрытий показал процесс

с использованием угольного электрода. Промышленные испытания проходили на ОАО «ГСКБ» (г. Брест), где показали повышение срока службы по сравнению с серийно изготавливаемыми шнеками в 3,0...3,5 раза при работе на торфе.

УДК 621.923

НОВЫЕ БОРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

В. М. Быстренков, Е. Н. Демиденко, Н. Н. Козлов

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

Одним из перспективных методов финишной обработки деталей является метод магнитно-абразивного шлифования.

В данной работе проводились исследования ферромагнитного абразивного материала, полученного методом диффузионного борирования частиц порошка в среде карбида бора с последующей магнитной сепарацией смеси из отходов дробы.

Продолжительность химико-термической обработки составляла 1...5 ч при температуре 850...950 °С.

Магнитно-абразивную обработку образцов цилиндрической формы из стали 45 ГОСТ 1050–88, подвергнутых закалке и высокому отпуску, производили на лабораторной установке. Время одного цикла обработки – 30 с.

Для определения влияния порошка на производительность процесса магнитно-абразивной обработки использовался гравиметрический метод по потере массы Δm . Взвешивание производили на аналитических весах марки ВСЛ-200/0,1 А с точностью до 1×10^{-7} кг. Перед взвешиванием образцы промывались в ацетоне (ГОСТ 2603–71). Шероховатость обработанной поверхности определялась на профилометре «Сейтроник ПШ8-4С». Результаты проведенных испытаний нового порошка сведены в таблицу.

Технологические свойства исследуемых ферромагнитных порошков

Характеристика ферромагнитного абразивного материала		Технологические характеристики порошка, процесса шлифования и обработанной поверхности		
Содержание бора в материале, мас. %	Диапазон размеров частиц порошка, мм	Производительность, мг/цикл	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Стойкость порошка, циклов
Полимам-Т1				
–	0,200...0,315	158±4	0,34±0,03	82±5
–	0,315...0,400	172±4	0,50±0,04	87±6
Новые материалы				
4,4±0,2	0,063...0,080	162±4	0,09±0,01	84±5
4,8±0,2	0,200...0,315	212±5	0,32±0,03	110±8
4,8±0,2	0,315...0,400	245±5	0,50±0,04	118±8

Из данных, приведенных в таблице, видно, что производительность и стойкость нового порошка выше по сравнению с существующими. Это обусловлено высокими магнитными свойствами нового материала и высокой твердостью всех час-

тиц порошка, так как абразивная составляющая, представляющая собой боридный слой вокруг ферромагнитного ядра, имеется на всех поверхностях частицы ферромагнитного порошка. При этом высокая производительность процесса обработки не снижает качество обработанной поверхности; шероховатость обработанных поверхностей с использованием порошков существующих и нового материала одинакова для порошков соответствующей фракции. Кроме того, возможность изготовления порошков более мелкой фракции (0,063...0,08 мм) позволяют получить поверхности с более низкой шероховатостью (до Ra 0,09 мкм) по сравнению с уже существующими порошками.

Таким образом, предложенный ферромагнитный абразивный порошок обладает более высокой производительностью и стойкостью, а также обладает более высокой полирующей способностью, более технологичен в изготовлении и использовании.

УДК 678

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕЛЕКТИВНОСТИ КАК ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕМБРАНЫ ИОНОСЕЛЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

М. С. Шинелева

Белорусский государственный университет, г. Минск

Введение

Основные успехи потенциометрического метода анализа за последние 40 лет связаны с разработкой и практическим применением ионоselectивных электродов (ИСЭ) с жидкими (прежде всего пластифицированными полимерами) мембранами [2].

Коэффициент потенциометрической селективности, K_{ij}^{pot} , определяет способность ИСЭ отличать один вид ионов от другого. Это, безусловно, важнейшая характеристика ИСЭ, во многом определяющая возможности их практического применения. Поэтому определение надежных значений коэффициентов селективности является первостепенной задачей при исследовании свойств ИСЭ; а, следовательно, выбор наиболее точного метода для корректного установления их величин является важной задачей аналитической химии.

Целью данной работы является определение коэффициентов селективности ИСЭ с помощью методов, рекомендованных IUPAC, и MSSM (модифицированного метода отдельных растворов); сравнение и анализ полученных результатов.

Объектом исследований является мембрана ИСЭ следующего состава: ионообменник (0,01М КТХФБ), пластификатор (ТЭГФ); полимерная матрица (ПВХ 33 %). В качестве основного иона выступал однозарядный катион тетрабутиламина (Bu_4N^+), а постороннего – двухзарядный катион кальция (Ca^{2+}).

Методика исследований

Коэффициенты селективности могут быть определены с помощью различных методов, которые делятся на две основные группы, а именно: методы смешанных растворов (метод определения K_{ij}^{pot} при фиксированной концентрации постороннего иона (FIM), метод определения K_{ij}^{pot} при фиксированной концентрации основного иона (FPM), метод двух растворов (TSM), метод подогнанных потенциалов (MPM)) и методы отдельных растворов (метод равных активностей, метод равных потенциалов), – включенные в рекомендации IUPAC.

Большинство из экспериментальных методов определения коэффициентов селективности основаны на уравнении Никольского-Эйзенмана. Это уравнение некорректно описывает состояние раствора в интервале активностей, при которых основной и посторонний ионы разной зарядности вносят значительный вклад в величину потенциала. В этом случае необходимо использовать более сложные уравнения для того, чтобы правильно описать такие растворы смеси ионов. Среди четырех методов смешанных растворов только метод подогнанных потенциалов (МРМ) является методом, который не зависит ни от уравнения Никольского-Эйзенмана, ни от каких-либо его модификаций; этот метод был рекомендован IUPAC в 1995 г. как метод, который дает аналитически и практически важные значения K_{ij}^{pot} [1]. Помимо этого метода, большой интерес исследователей привлек специальный алгоритм определения коэффициентов селективности – модифицированный метод отдельных растворов (MSSM) [2].

В ходе экспериментальной работы установлены значения величины коэффициентов потенциометрической селективности (K_{ij}^{pot}) в соответствии с рекомендациями IUPAC и рекомендациями проведения опыта в рамках MSSM.

Сводная таблица результатов определения K_{ij}^{pot}

Способ определения	K_{ij}^{pot}	$\lg K_{ij}^{pot}$
MSSM	1,72E-05	-4,76
SSM ($a_i = a_j$)	1,03E-05	-4,99
	9,61E-05	-4,02
SSM ($E_i = E_j$)	2,76E-05	-4,59
FIM	1,25E-05	-4,90
TSM	3,58E-06	-5,45
MPM	3,95E-05	-4,40

В результате работы подтверждено, что экспериментально определенные значения коэффициентов селективности непостоянны и могут варьироваться в широких пределах, в зависимости от условий их определения. Так, например, в соответствии с SSM, при изменении концентрации основного иона на порядок величина K_{ij}^{pot} также изменяется на порядок. Причина кроется в том, что полуэмпирическое уравнение Никольского-Эйзенмана не только не является строгим, но зачастую, в первую очередь, для электродов с высокой селективностью, фактически не пригодно для описания потенциала в растворах, содержащих посторонние ионы.

К тому же неявно предполагается, что электрод проявляет функции с нернстовским наклоном в растворах как основного, так и постороннего иона. Реально же высокоселективные электроды (к которым можно отнести и данный электрод) проявляют в растворах посторонних ионов функцию с наклоном гораздо ниже нернстовского. Дело в том, что уравнение Никольского, лежащее в основе последующих вычислений K_{ij}^{pot} , базируется на допущении, что процесс ионного обмена, протекающий на границе мембрана-исследуемый раствор, не приводит к существенному возрастанию активности ионов i в приэлектродном слое исследуемого раствора, и единственным принимаемым во внимание результатом этого процесса является уменьшение активности ионов i во внешнем слое мембраны. Однако такое допущение

ние, справедливое для стеклянных электродов, не соблюдается для ИСЭ с пленочными мембранами, обладающими значительной обменной емкостью и гораздо более высокими (по сравнению со стеклом) коэффициентами диффузии ионов. В результате этого влияние посторонних ионов j на потенциал ИСЭ, обратимых к иону i , обусловлено не только уменьшением активности определяемых ионов во внешнем слое мембраны, но и возрастанием их активности в приэлектродном слое исследуемого раствора.

Таким образом, влияние посторонних ионов на потенциал ИСЭ проявляется сильнее, чем это следует из теории Никольского. Более того, в ряде случаев (при низких концентрациях определяемого иона в растворе и низких значениях коэффициентов селективности) второй фактор становится определяющим. Если электрод обладает высокой селективностью к иону i , то в этих условиях именно вытесненный из мембраны ион i становится потенциалопределяющим.

Выводы

Для решения этой проблемы, проблемы несостоятельности уравнения Никольского-Эйзенмана, необходимо обратить внимание на методы, которые не обращаются к этой модели, т. е. к МРМ и МССМ. Ввиду причин, обсужденных ранее и подтвержденных в экспериментальной работе, необходимо работать в направлении обоснования и практического подтверждения МССМ, т. е. включения его в рекомендации IUPAC.

Литература

1. Potentiometric selectivity coefficients of ion-selective electrodes (Technical Report) // Pure and applied chemistry. – 2000. – Vol. 72, № 10. – P. 1851–2082.
2. Егоров, В. В. Ионоселективные жидкостные электроды: проблемы описания и экспериментального определения селективности / В. В. Егоров // Росс. хим. журн. – 2008. – Том LII, № 2. – С. 37–51.

УДК 666.762

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА НА ЛЕГКОПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

М. П. Купреев, Е. Н. Леонович

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

Более высокой производительностью, ударной вязкостью, самозатачиваемостью и другими свойствами характеризуется абразивный инструмент из легированного электрокорунда. Для его изготовления в промышленных условиях применяется керамическая связка марки К6 на основе бариевого стекла. Обжиг изделий на этой связке осуществляется при температуре 1250–1300 °С. Известно, что твердый расплав титана в корунде при обжиге на воздухе (около 1100 °С) распадается и окись титана переходит в двуокись, что значительно снижает режущие свойства инструмента из легированного электрокорунда. Одним из путей устранения указанного фактора является применение легкоплавкой керамической связки, обеспечивающей температуру обжига изделий ниже 1100 °С.

Целью исследования является изучение и отработка режимов изготовления абразивного инструмента из легированного электрокорунда на легкоплавкой керамической связке.

В процессе исследований в качестве легкоплавкой связки использовалась керамическая связка по химическому составу, соответствующая связке С10, применяемой в абразивном производстве для изготовления инструмента из кубического нитрида бора. Основу связки составляли аэросил технический и криолит искусственный технический, выпускаемые ОАО «Гомельский химический завод». В состав связки вводились также компоненты, содержащие бор, литий и фтор, которые позволили снизить ее огнеупорность до 900–1000 °С.

В процессе экспериментальных исследований определялись прочность на изгиб, твердость и режущие свойства абразивного инструмента по известным методикам.

Использовались зерно электрокорунда белого марки 25А 25-Н и 25А 16-Н, а также зерно хромотитанистого электрокорунда марки 92А 25-Н и 92А 16-Н (зернистостью 16 (F80) и 25 (F60)).

Установлено, что прочность на изгиб и твердость шлифовального инструмента из белого и хромотитанистого электрокорундов практически одинаковы при равном содержании керамической связки в формовочной массе и увеличиваются с одинаковой степенью с повышением температуры обжига изделий. Выявлено, что в процессе обжига шлифовального инструмента из хромотитанистого электрокорунда зернистостью 16 (F80) при температуре 1100 °С его прочность на изгиб снижается на 10–12 %. Это, по-видимому, обусловлено разложением соединений оксида титана в мелкозернистом порошке электрокорунда и нарушением прочности скрепления его частиц керамической связкой.

На разработанном составе керамической связки изготовлена экспериментальная партия шлифовальных кругов прямого профиля 1 40 × 63 × 10 25А 25-Н С2 80 м/с 1-2А и 40 × 63 × 10 92А 25-Н С2 80 м/с 1-2А (по ГОСТ 2424–83) в количестве 20 шт.

Экспериментальные круги были испытаны в производственных условиях на Республиканском унитарном предприятии «Гомельский завод литья и нормалей». На шлифовальном станке модели 3К227В обрабатывались отверстия цилиндрические шестерен. Установлено, что стойкость кругов из легированного электрокорунда значительно превышает стойкость кругов из белого электрокорунда. Продолжительность работы этими кругами увеличилась более чем в 2 раза.

УДК 620.22

РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ КАНАТНЫХ МАШИН

Т. А. Ахметов

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

ОАО «БМЗ» – один из крупнейших мировых производителей такой высокотехнологичной продукции, как металлокорд. За счет различных конструкторских решений происходит постоянный рост производительности канатных машин, что предъявляет дополнительные требования к комплектующим и технологическим материалам, которые используются при изготовлении металлокорда. В частности, от

качества тормозных элементов, установленных в размоточном модуле, зависит стабильность натяжения свиваемых нитей и, как следствие, качество самого металлокорда. Режим стационарного трения при отсутствии смазочного материала, воздействие высоких скоростей скольжения и высоких удельных нагрузок, вместе с требованием стабильного коэффициента трения (обеспечивает стабильность натяжения свиваемых нитей), обуславливает выбор в качестве материала тормозных элементов полимерных композитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

ПТФЭ был случайно синтезирован в лабораториях фирмы DuPont ученым-химиком Роем Планкеттом (Roy Plunkett) в 1938 г. и запатентован под торговой маркой Teflon в 1945 г. В настоящее время политетрафторэтилен выпускается промышленностью многих стран под различными торговыми марками – фторопласт-4 (Россия); Teflon (США); Fluon (Англия); Algoflon (Италия); Gaflon (Франция); Hostaflon (Германия); Polyflon (Япония).

ПТФЭ обладает уникальным комплексом физико-механических, антикоррозионных и антиадгезионных свойств, исключительной стойкостью к агрессивным средам (не растворяется в «Царской водке»). Однако низкая износостойкость, ползучесть под нагрузкой, высокий коэффициент линейного расширения ограничивает применение ПТФЭ в промышленности. Улучшение основных эксплуатационных свойств полимерных материалов достигается путем введения одного или нескольких наполнителей. В качестве наполнителей для ПТФЭ используют волокнистые и дисперсные материалы различной природы, что приводит к изменению как надмолекулярной структуры, так и свойств композита. Модификация композиционных материалов может достигаться за счет воздействия радиации, ультразвука, магнитного поля и других энергосиловых полей на полимерную матрицу и наполнитель.

В ИММС НАНБ коллективом авторов (Сергиенко В. П., Биран В. В., Сенатрев А. Н.) были разработаны состав и технология получения полимерных композиционных материалов (ПКМ) с ПТФЭ матрицей. Данные ПКМ обеспечивают весь комплекс эксплуатационных и фрикционно-износных характеристик, которые предъявляются тормозным элементам канатных машин. Проведенные исследования позволили определить степень влияния ультрадисперсных минеральных наполнителей (УМН) и объемных модифицирующих компонентов (ОМК) на фрикционно-износные характеристики ПТФЭ. С целью установления влияния наполнителей и модификаторов различной природы на процессы структурообразования в ПТФЭ и, соответственно, на характер изменения свойств с помощью электронно-микроскопических методов проведены структурные исследования модельных композиционных составов.

Разработанные в ИММС НАНБ отечественные ПКМ на основе ПТФЭ не уступают по качеству зарубежным аналогам. В настоящее время ведутся поиски новых перспективных наполнителей и способов модификации ПКМ с целью увеличения износостойкости и несущей способности без потери эксплуатационных характеристик.

УДК 621.865

**ТИПОВОЙ РЯД МАЛОГАБАРИТНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ
МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ****Л. А. Борисенко, В. Л. Комар***Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь*

Одним из основных требований к передаточным механизмам для мехатронных устройств является обеспечение достаточно большого передаточного отношения при малых габаритах и высоком КПД.

В настоящей статье приводятся сведения об исследовании предложенной авторами новой двухступенчатой схемы, в основе которой лежат проверенные и распространенные в технике простейшие схемы планетарных механизмов.

Планетарные механизмы обладают достаточно высоким КПД только при малых передаточных отношениях, поэтому реализация больших передаточных отношений в одноступенчатых схемах становится нецелесообразной. В этих случаях чаще всего используются двухступенчатые схемы, с быстроходной и тихоходной ступенью, причем рекомендуется реализовывать большую часть передаточного отношения в быстроходной ступени.

Предложенная авторами новая схема планетарного механизма защищена двумя патентами Республики Беларусь. Механизм состоит из трех относительно самостоятельных частей: быстроходной ступени, тихоходной ступени и связывающего их механизма, осуществляющего передачу движения между параллельными валами с передаточным отношением, равным единице. В качестве тихоходной ступени использован классический трехколесный планетарный механизм, а быстроходной – двухколесный планетарный механизм с внутренним зацеплением с разностью чисел зубьев в один зуб, объединенные в один агрегат посредством карданного вала или механизма, выполняющего ту же функцию.

Конструкция используемого в данной схеме карданного вала также предложена авторами. Он может иметь осевые перемещения, которые очень важны для компенсации неточности монтажа остальных устройств редуктора и обеспечения удобства сборки ступеней редуктора. Кроме того, что весьма важно, он позволяет выполнить центральную шестерню трехколесного механизма плавающей. В быстроходной ступени использовался двухступенчатый планетарный механизм с зубчатыми колесами, изготовленными долбяком с исходным контуром 30° , что позволило получить безинтерференционное внутреннее зацепление с разницей чисел зубьев колес, равной единице. При этом колеса были изготовлены с небольшим смещением, которое не приводит к ослаблению зубьев колес.

Расчетный КПД этого механизма при надлежащем исполнении зубчатых колес при передаточном отношении 120 может достигать значения 0,82.

Предложенная схема положена в основу типового ряда планетарных механизмов с диапазоном передаточных отношений от 10 до 200, реализованных в 10 опытных образцах. Проведенные лабораторные испытания подтвердили эффективность данной схемы.

УДКУДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ БЫСТРОЗАКАЛЕННОЙ ЛЕНТЫ АМОРФИЗИРУЮЩЕГОСЯ СПЛАВА В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

М. Н. Верещагин, С. И. Кириллюк

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

Для получения микрокристаллических и аморфных порошков в настоящее время разработан ряд методов. К ним относятся, прежде всего, механическое измельчение, высокоскоростное затвердевание расплава, распыление с затвердеванием, испарение и конденсация и др. Для технологических целей часто требуются порошки с размерами частиц, значительно меньшими, чем это достигается при распылении и высокоскоростном затвердевании расплава, а также гарантированным выходом определенной фракции. Поэтому для получения мелких равноосных частиц аморфных и микрокристаллических материалов применяется метод размола.

Аморфные и микрокристаллические сплавы обладают высокими физико-механическими свойствами, прочностью при высокой пластичности, ударной вязкостью, коррозионной стойкостью и др. Поэтому размол аморфных и микрокристаллических сплавов производят в высоко энергетически напряженных измельчающих аппаратах, вибромельницах, атриторах, планетарных мельницах и др.

Исходным материалом служили кусочки ленты аморфизирующегося сложнолегированного сплава Me-B-Si, полученные спинингованием расплава на медный диск. Скорость охлаждения находилась в пределах 10^5 – 10^6 К/с, лента имела структуру, близкую к аморфной. Измельчали их в планетарной мельнице при следующих технологических режимах: рабочий объем стакана 0,55 л, число оборотов мельницы $n = 200$ об./мин, мелющими телами служили шарики из стали ШХ15.

При изучении зависимости степени измельчения от количества мелющих шаров максимум достигается при 60–70%-ной загрузке рабочего объема мелющими телами. Вероятно, при малом количестве шаров уменьшается число ударов по частицам порошка, тогда как при большом содержании шаров в результате сокращения пути движения значительно уменьшается их кинетическая энергия. При исследовании оптимального весового соотношения «материал–шары» для размола ленты в планетарной мельнице равно $\sim 1:3$ при загрузке в стакан $\sim 0,2$ кг кусочков ленты. Исследование влияния количества загружаемого в барабан материала на выход фракции с максимальной дисперсностью показало, что оптимальная доза шихты должна занимать 15–20 % объема стакана, причем на начальном этапе размола может достигать 25–35 %. Уменьшение этого количества приводит к увеличению намолта железа, увеличение количества шихты значительно понижает эффективность размола.

Процесс измельчения протекал в течение 60 мин. Контроль проводился через 15, 30, 45, 60 мин. На первом этапе наблюдалось интенсивное измельчение ленты до размеров частиц 3×3 , 1×1 мм. После 15 мин размола основную массу составляли частицы с размером близким к одному миллиметру. Далее происходило менее интенсивное уменьшение размеров частиц, причем наблюдалось почернение порошка, что связано с увеличением намолота материала размольных тел и футеровки. После 60 мин размола порошок имел следующий фракционный состав; св. 0,63 мм – 0,3 %; от 0,60 мм до 0,315 мм – 0,7 %; от 0,315 мм до 0,2 мм – 1,8 %; от 0,2 мм до 0,16 мм – 15,6 %; от 0,16 мм до 0,1 мм – 34,8 %, от 0,1 до 0,05 мм – 29,3 % и менее 0,05 мм – 11,5 %. Фракционный состав определялся с помощью ситового анализа.

УДК 621.793.092

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ
ДЛЯ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ
ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО СОВМЕСТНОЙ ВЫТЯЖКОЙ****М. И. Лискович, Н. В. Иноземцева***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет им. П. О. Сухого», Беларусь*

В ГГТУ им. П. О. Сухого разработан новый способ изготовления полых композиционных изделий, получаемых совместной вытяжкой покрытия и основы [1], позволяющий получать цельноштампованные композиционные втулки с повышенной, по сравнению с получаемыми гибкой и калибровкой, точностью размеров.

Свойства металлопорошковых изделий и покрытий существенно зависят от их плотности и пористости, которые в свою очередь зависят от давления прессования.

Целью работы является исследование возможности использования уравнений для расчета давления прессования при создании покрытия, получаемого совместной вытяжкой.

Процесс прессования порошков является сложным процессом упруго-пластического деформирования огромного числа частиц, при котором и относительное расположение частиц, и картина их упругого взаимодействия непрерывно изменяются

Общее число уравнений прессования, приведенных разными авторами для разных типов порошков и процессов прессования, исчисляется несколькими десятками. Все они чаще всего были получены эмпирически, путем математической обработки экспериментальных зависимостей, поэтому они могут с достаточной степенью точности описывать процесс прессования лишь тех порошков и при тех условиях прессования, для которых они были получены.

Для исследуемого процесса в методику и расчетные зависимости Е. А. Попова [2] были внесены дополнения и видоизменения таким образом, чтобы сделать возможным учет влияния процесса деформации порошкового материала на процесс деформации основы [3].

Вывод уравнения проводился исходя из поведения такой части объема порошкового тела, которая характеризует и сохраняет все физические свойства данного тела, находящегося под давлением.

Сравнение расчетных и опытных значений свидетельствуют о возможности использования полученной аналитической зависимости в практических расчетах, так как разработанная формула для определения давления прессования при совместной вытяжке металлической основы и металлопорошкового покрытия описывает процесс в разные периоды прессования и в широких интервалах давлений.

Л и т е р а т у р а

1. Лискович, М. И. Способ изготовления полого композиционного изделия: пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В21D 22/20, В22F 3/10 / М. И. Лискович, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель // заявитель : ГГТУ им. П. О. Сухого ; заявл. 16.05.2005 ; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4 (63). – С. 153.
2. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 420 с.
3. Стрикель, Н. И. Формирование металлопорошкового покрытия при глубокой вытяжке основы / Н. И. Стрикель, Ю. Л. Бобарикин, М. И. Лискович // Материалы, технологии, инструменты. – Гомель, 1999. – № 4. – С. 18–22.

СЕКЦИЯ В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

УДК 621.833.16

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ, РАБОТАЮЩЕЙ В ВЫСОКОМ ВАКУУМЕ

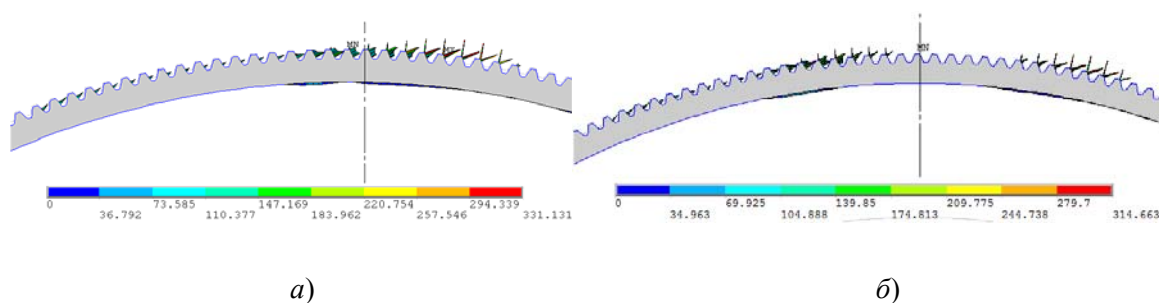
Р. С. Лукин, В. И. Усаков

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Одной из особенностей эксплуатации волновых передач в высоком вакууме на борту космических аппаратов (КА) является работа передачи без смазочного материала в разряженной среде, что значительно повышает износ вследствие схватывания металла.

Для гибкого колеса (ГК) при двухволновом зацеплении характерно расположение нагруженной зоны на главной оси волнообразователя. При этом достигается минимальное скольжение на вершине волны деформации ГК, что способствует меньшему износу передачи при наличии промежуточного тела (смазки). Однако, как отмечалось выше, в современных приводах КА обычно применяются передачи без смазочного материала, и как следствие на передний план выходит обеспечение отсутствия выстоя под нагрузкой. Для этого зону зацепления необходимо сместить на несколько градусов относительно главной оси волнообразователя. Этого можно достичь модификацией формы кулачка волнообразователя с целью получения заданных характеристик зацепления.

Используя метод конечных элементов для моделирования контактного взаимодействия ГК и жесткого колеса, можно получить характер взаимодействия зубьев при различной форме волнообразователя. При этом учитывается преднапряженное состояние ГК, предварительно деформированное на величину деформации w_0 .



*Рис. 1. Характер зацепления, контактные давления:
а – для номинальной передачи; б – для модифицированной формы
кулачка волнообразователя*

Из рис. 1 видно, что при определенных значениях нагрузки, возможно полностью исключить контакт зубьев в вершине волны волнообразователя. При этом зона зацепления, характерная для базового волнообразователя, разносится на две части.

Где форму кулачка можно описать формулой:

$$r_i = r_0 + w_0 \cos(2\varphi) + \frac{w_0 \cdot \sin(4\varphi)}{k},$$

где, подбирая значения коэффициента k , можно регулировать характер зацепления и степень дополнительной деформации гибкого колеса. Также проведя мероприятия по приработке рабочих поверхностей зубьев, возможно добиться снижения контактных давлений в зоне контакта кромки.

Данный метод модификации формы кулачка волнообразователя с целью обеспечения постоянного скольжения контактирующих поверхностей зубьев является одним из способов по повышению ресурса ГК волновой передачи привода КА.

УДК 631.363.25

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ РАБОЧЕГО ОРГАНА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

Б. С. Каменецкий, Н. А. Колбасина

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

В Сибирском федеральном университете создан новый тип универсального измельчителя материалов, рабочий орган которого выполнен на основе оригинальной зубчатой передачи внутреннего зацепления [1], [2]. Актуальной является задача определения собственных частот рабочего органа для оценки динамического качества конструкции.

Для определения собственных частот была использована параметрическая конечно-элементная (КЭ) модель рабочего органа измельчителя, реализованная в виде управляющего файла программного комплекса Ansys [3]. Поскольку модель параметризованная, она позволяет варьировать основные геометрические характеристики конструкции, причем КЭ сетка при перестроениях адаптируется, сохраняя регулярность и достаточную степень аппроксимации сложных геометрических поверхностей. Кроме того, существует возможность менять плотность сетки как в осевом, так и в радиальном направлении. Модель позволяет определять спектры собственных частот в любом заданном диапазоне и в необходимом количестве.

В качестве эксперимента проводился анализ собственных частот рабочего органа измельчителя и его отдельных элементов при изменении числа степеней свободы в осевом и радиальном направлении. Определение собственных частот производится с учетом жесткости подшипников.

В ходе решения тестовых задач выявлено существенное влияние размера КЭ в осевом направлении вал-шестерни на получаемый результат, влияние размера и формы КЭ в радиальном направлении на результат не значительно.

Проводилось сравнение полученных результатов с данными вибродиагностики, полученными на экспериментальном стенде, и с аналитическими расчетами.

Выявлена корреляция данных, полученных в ходе КЭ анализа, с данными, полученными в результате вибродиагностики. В то же время при сравнении экспериментальных и аналитических данных было показано, что собственные частоты, определяемые аналитически, составляют не весь спектр собственных частот, а только часть. Данное явление объясняется малым числом степеней свободы аналитической модели. Таким образом, использование аналитической модели для определения собственных частот сложных конструкций не является перспективным, так как трудно

учесть особенности геометрии и увеличение степеней свобод существенно усложняет расчеты.

По результатам эксперимента дана оценка резонансности конструкции с учетом возмущающих воздействий, возникающих в результате работы конструкции.

Было выявлено существенное влияние жесткости подшипников на вероятность возникновения резонанса, даны рекомендации по изменению конструкции измельчителя.

Литература

1. Титов, В. А. Геометрия оригинальной цилиндрической передачи внутреннего зацепления для измельчителя материалов / В. А. Титов, Н. А. Колбасина // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2011. – № 3. – С. 91–93.
2. МПК ВО2С 15/16. Измельчитель : пат. РФ №2412006 / В. А. Титов ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU) ; опубл. 20.02.11 // Бюл. № 5.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2011614897 / Б. С. Каменецкий, Н. А. Колбасина ; заявитель и правообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU), дата рег. 21.03.2012.

УДК 621.229.323.2.771.5

ИЗМЕНЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦАНГОВОГО ПАТРОНА ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ЗАГОТОВОК РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА

А. В. Литвин

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

От характеристик зажимных механизмов в значительной степени зависит точность и производительность обработки деталей, так как они оказывают существенное влияние на режимы резания, точность установки заготовок и инструментов, стабильность и виброустойчивость технологической системы. Значительную часть среди зажимных механизмов в машиностроении занимают цанговые патроны. В этой связи проблема создания цанговых патронов, удовлетворяющих повышенным требованиям современного производства с точки зрения стабилизации или регулирования силы зажима заготовки в патроне и поглощения возможных колебания цанговым зажимом, способствует максимальной точности обработки, экономии энергии и материала. Вопросы исследования влияния случайных и детерминированных факторов на силовые характеристики патрона являются весьма актуальными (рис. 1). Основная силовая характеристика – радиальная сила зажима, создаваемая одной губкой при осевом тянущем усилии, определяется как нормальная контактная сила, возникающая на рабочей поверхности губки цанги при ее взаимодействии с поверхностью зажимаемой заготовки. Одной из наиболее важных задач, встречающихся при расчетах сил зажима, является учет деформаций элементов конструкции под действием сил закрепления и инерции.

Существуют способы проверки силы зажима патронов устройством, передающим информацию на персональный компьютер посредством беспроводной связи, что обеспечивает правильный выбор зажимного патрона и зажимного цилиндра, адаптацию к конкретным условиям работы, определение оптимального числа оборотов для различных режимов обработки.

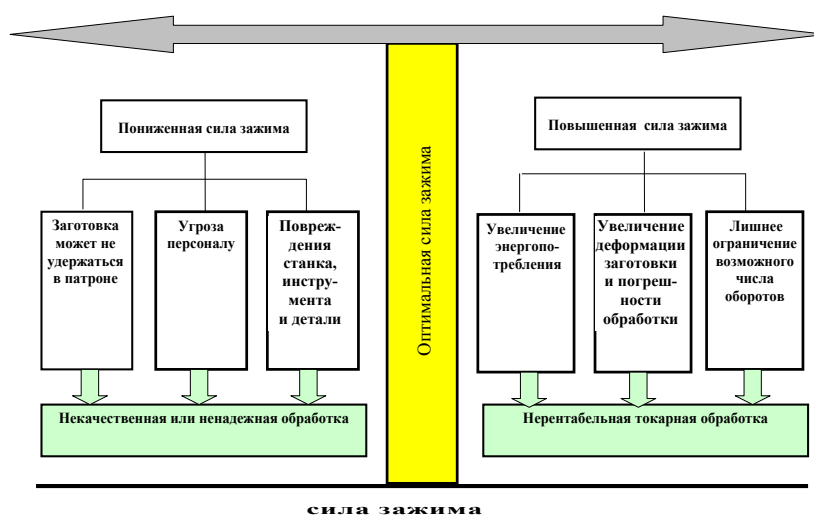


Рис. 1. Влияние величины силы зажима на процесс обработки

К нерешенной ранее части общей проблемы создания точных и надежных патронов относится разработка динамических моделей пространственных движений отдельных элементов передающей – усиливающей звена патрона при вращающемся шпинделе. Разработанная конечно-элементная расчетная модель цангового патрона дает возможность определять величину и разброс основных характеристик (прочностных, силовых, точностных, жесткостных и т. д.), поскольку они являются функцией отклонения от номинала размеров, жесткости деталей и сил трения.

УДК 621.91.01:543.1

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ГЛАВНЫХ ОСЕЙ ЖЕСТКОСТИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

А. В. Шевченко

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Одной из основных причин возникновения автоколебаний при токарной обработке является изменение площади срезаемого слоя и силы резания вследствие относительного колебательного движения инструмента и обрабатываемой детали с учетом наличия координатной связи между процессом резания и движением по разным координатам упругой системы станка. Основными способами повышения виброустойчивости станков при резании являются: оптимальная ориентация главных осей жесткости и подбор соотношения жесткостей и масс элементов системы; обеспечение условий, при которых увеличение силы резания приводит к отжатию режущего инструмента от обрабатываемой детали; увеличение демпфирования в системе.

Наибольшие изменения площади срезаемого слоя при точении возникают при перемещении режущего инструмента в направлении, нормальном к поверхности резания. Кроме того, при автоколебаниях парциальные системы движутся по траекториям, которые по форме являют собой изменяющийся во времени искривленный эллипс. Такие относительные движения систем инструмента и детали вызывают значительные

изменения площади срезаемого слоя и являются основой для анализа влияния динамических характеристик упругой системы станка на устойчивость при точении.

При математическом описании упругой системы токарного станка в относительном движении инструмента и детали в его технологической системе выделены подсистема «резец – суппорт» и подсистема «шпиндель – патрон – деталь». Модели каждой из этих подсистем рассмотрены с ориентированными осями жесткости и объединены в одну комплексную математическую модель, в которой также учтено влияние конструктивных особенностей консольной инструментальной оснастки на устойчивость при точении. Полученные в результате исследования теоретические положения использованы при проектировании виброустойчивой инструментальной оснастки с ориентированной жесткостью для точения и растачивания.

Для экспериментального исследования инструментальной оснастки разработан и реализован стенд, который дает возможность определить амплитудно-фазово-частотные характеристики консольного инструмента методом гармонического возбуждения в диапазоне частот 30–1800 Гц. В состав стенда входят: нагрузочное устройство в виде бесконтактного электромагнитного вибратора для воздействия на консольную часть режущего инструмента постоянной и переменной составляющими нагрузки, имитирующими силу резания; приборы для регулировки величин переменного и постоянного сигналов для вибратора; виброизмерительная аппаратура и др. Полученные электромагнитные колебания заданной частоты и амплитуды преобразуются в силовое воздействие на упругую систему станка, которое контролируется акселерометрами на консольной части инструмента. Далее сигналы от датчиков через усилитель и аналогово-цифровой преобразователь АЦП ADA-1406 поступают в компьютер с программным обеспечением для цифровой обработки сигналов PowerGraph.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что путем рационального выбора конструктивных параметров консольного инструмента с учетом соответствующих ориентаций главных осей жесткости по отношению к направлению действия силы резания и соотношения жесткостей оснастки вдоль этих осей можно существенно повысить устойчивость процесса точения.

УДК 622.002.5:531.112

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ УГЛОВ РЕЗЦОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. В. Локтионов

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

При работе исполнительного механизма изменяются положения режущего инструмента относительно обрабатываемого массива, а следовательно, и геометрические параметры резцов в процессе резания [1]. При обработке массива кинематические углы резцов не должны превышать их геометрические значения. Иначе массив разрушается боковыми и задними гранями резцов, увеличиваются их износ и расход, усилия и мощность резания, что является одной из причин малоэффективной работы машин.

Разработанные на основе аналитической геометрии расчетные зависимости и пространственные схемы громоздки и трудоемки для использования, применимы только для одной конструкции органа. Для сравнения геометрии резца с его кинема-

тическими углами необходим дополнительный перерасчет полученных расчетных зависимостей [2].

При координатном способе задания движения резца требуется продифференцировать весьма громоздкие выражения, которые к тому же являются промежуточными для расчета кинематических углов резцов в процессе резания и оценке их соответствия геометрии резца. Исследование кинематики режущего инструмента – точки М как кинематики точки в сложном движении значительно проще, чем при координатном способе задания движения резца. Методика расчета кинематических характеристик точки М (резца) исполнительного механизма как твердого тела в плоском движении достаточна проста и применима для практического использования. Расчет кинематических параметров исполнительного органа как твердого тела, совершающего сферическое движение, применим только при полном соответствии элементарных движений резца кинематике движения твердого тела при сферическом движении [3].

Установлено, что методика расчета кинематических характеристик пространственного исполнительного механизма матричным методом более компактна, сравнительно проста и более универсальна по сравнению с исследованиями кинематических параметров исполнительного механизма при его сферическом движении. Искомые соотношения позволяют определить кинематические углы резцов в процессе резания. Преобразования координат путем матричного их представления позволяет получить матричные уравнения для исследования и расчета кинематических характеристик пространственных исполнительных механизмов.

Л и т е р а т у р а

1. Грановский, Г. И. Резание металлов : учеб. для студентов машиностроит. и приборостроит. вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высш. шк., 1985. – 304 с.
2. Локтионов, А. В. К методике аналитического расчета кинематических параметров исполнительного механизма / А. В. Локтионов // Пути совершенствования технологических процессов в машиностроении. – Минск, 1990. – С. 150–155.
3. Локтионов, А. В. Расчет кинематических параметров исполнительного механизма / А. В. Локтионов, О. С. Лысова // Теоретическая и прикладная механика : Междунар. науч.-техн. журн. – 2009. – № 24. – С. 293–299.

УДК 539.4

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В. В. Можаровский

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

Н. А. Марьяна

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

Многослойные композиционные покрытия триботехнического назначения прежде всего должны обеспечивать высокую износостойкость и стабильное фрикционное поведение материалов. Для выполнения этих требований необходимы высокая адгезия между покрытием и подложкой и хорошая несущая способность, т. е. способность материала сопротивляться нагрузке без пластических деформаций, растрескивания и расслаивания покрытий. Кроме объемных и поверхностных нагрузок

конструкции из композиционных материалов могут испытывать и воздействия температурных полей, что приводит к проявлениям температурных напряжений и деформаций. Отметим, что температура является одним из важных факторов окружающей среды, влияющих на поведение композиционных материалов. Во-первых, это связано с тем, что полимерные композиты имеют достаточно низкую теплопроводность, что позволяет их использовать в элементах конструкций, подвергающихся кратковременному нагреву без дополнительной теплозащиты. Во-вторых, некоторые материалы на основе углеродной и керамической матриц могут быть специально предназначены для работы при интенсивном нагреве, а использование минеральных волокон позволяет выполнять функции теплозащиты покрытий. Таким образом, температурные воздействия необходимо отражать в качестве расчетного параметра и, следовательно, учитывать в физических законах деформирования твердых сред.

В данной работе исследуется напряженно-деформированное состояние слоистого композиционного покрытия под действием нагрузки, оказываемой цилиндрическим штампом, который кроме силового воздействия оказывает и тепловое воздействие. Кроме этого стоит задача учета изменений температуры, которая приводит к изменениям физико-механических характеристик материала, т. е. учет упругой и тепловой анизотропии с учетом различных схем армирования волокнами материала матрицы в покрытии. Данная задача решается с использованием функций напряжений и основных положений теории термоупругости. Рассматриваемая постановка контактной задачи является упругой и линейной, без учета явлений вязкоупругости. Предполагается выполнение допущений для случая плоской деформации. Метод решения строится с помощью подхода, основанного на суперпозиции решений для «точечных сил», так называемый метод функций Грина.

Используя зависимость для перемещения, а также учитывая вид контактной нагрузки на поверхности, получаем зависимость для перемещений:

$$v = \left\{ -\frac{S_{22}}{\pi(\beta_1 - \beta_2)} \beta_1^2 \int_{-a}^a p(t) \ln \left| \frac{\beta_1}{h} (x-t) \right| dt + \frac{S_{22}}{\pi(\beta_1 - \beta_2)} \beta_2^2 \int_{-a}^a p(t) \ln \left| \frac{\beta_2}{h} (x-t) \right| dt - \frac{S_{22}}{\pi(\beta_1 - \beta_2)} \ln \frac{\beta_2}{\beta_1} P \right\}.$$

Для исследования влияния анизотропии температурных параметров – коэффициентов линейного теплового расширения и коэффициентов теплопроводности используются следующие модели для сред с цилиндрическими включениями [4], которые верифицировались с экспериментальными исследованиями, представленными в работе [3].

Литература

1. Прусов, И. А. Термоупругие анизотропные пластинки / И. А. Прусов. – Минск : БГУ, 1978. – 200 с.
2. Можаровский, В. В. Исследование напряженного состояния волокнистого композиционного материала с однородным покрытием при контакте с цилиндрическим индентором / В. В. Можаровский, Н. А. Рогачева // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2000. – Т. 5, № 2. – С. 5–10.
3. Thomas Hutsch, Thomas Schubert Innovative Metal-Graphite Composites as Thermally Conducting Materials. – PM2010 World Congress – PM Functional Materials – Режим доступа: http://www.ifam-dd.fraunhofer.de/content/dam/ifam-dd/de/documents/Publikationen/2010/313_Hutsch_no530_final.pdf Дата доступа 7.06.2012.
4. Кристенсен, Р. Введение в механику композитов / Р. Кристенсен, 1982. – 336 с.

УДК 006.91:681.2

КРИТЕРИИ АДЕКВАТНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ КООРДИНАТНОМ КОНТРОЛЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

Д. В. Соломахо

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», г. Минск, Беларусь

Алгоритм реализации измерительной процедуры при проведении координатного контроля предполагает построение метрологической модели объекта измерения. Всякий раз при аналитическом моделировании реальных поверхностей по результатам их измерений возникает методическая погрешность, обусловленная переходом от реальной поверхности к ее образу. Адекватность метрологических моделей объектов контроля является их свойством, отражающим близость моделей к моделируемым объектам.

В математике широко используются оценки точности приближения в среднеквадратичной и минимаксной метриках. Оценки на основе среднеквадратичной метрики являются предпочтительными, поскольку они позволяют получить усредненный показатель погрешности аппроксимации на всей площади моделируемой поверхности. В качестве параметров результативности будем рассматривать соотношение точности приближения с допуском на измеряемый параметр и число контрольных точек. Точность приближения в среднеквадратичной метрике определяется дискретно выражением вида:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (z_i - z_i^*)^2}{N}}, \quad (1)$$

где N – число контрольных точек, используемых для построения модели; z_i – координата i -той точки модели; z_i^* – координата i -той точки по результатам измерения исходной поверхности.

В рассматриваемой оценке учтено число контрольных точек, что позволяет использовать эти оценки для сравнения «выигрыша» в адекватности моделей при применении различного числа контрольных точек. В случае, если производится имитационное моделирование с целью экспериментальной валидации разработанных методов моделирования целесообразно строить непрерывные оценки. В этом случае оценка (1) примет следующий вид:

$$\varepsilon_2 = \sqrt{\frac{\iint [z(x, y) - z^*(x, y)]^2 dx dy}{\iint z(x, y) dx dy}}, \quad (2)$$

где $z(x, y)$ – моделируемая теоретическая поверхность; $z^*(x, y)$ – аппроксимирующая модель поверхности.

Соотнося оценки (1) и (2) с допуском, получим более информативные оценки:

$$\rho_1 = \frac{1}{IT} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (z_i - z_i^*)^2}{N}}; \quad (3)$$

$$\rho_2 = \frac{1}{IT} \sqrt{\frac{\iint [z(x, y) - z^*(x, y)]^2 dx dy}{\iint z(x, y) dx dy}}. \quad (4)$$

УДК 621.83.06

ШАРИКОВАЯ ПЕРЕДАЧА С ИЗМЕНЯЕМЫМ УГЛОМ ПЕРЕКРЕЩИВАНИЯ ОСЕЙ ВАЛОВ

М. Е. Лустенков, Е. С. Фитцова

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

Конструкция сферической передачи с промежуточными телами качения напоминает конструкцию шарнира равных угловых скоростей. Передача [1] состоит из трех сферических обоей: внутренней, наружной, промежуточной и шаров. Внутренняя сферическая обойма (ведущее звено) имеет замкнутую канавку на сферической поверхности, а промежуточная сферическая обойма, связанная с корпусом, имеет торцовую кулачковую поверхность с волнообразным профилем. На внутренней поверхности наружной сферической обоймы (ведомое звено) исполнены канавки, равномерно расположенные относительно оси передачи. Передаточное отношение определяется количеством волн (выступов) Z_3 промежуточной обоймы: $u = Z_3 + 1$.

Целью работы являлось совершенствование конструкции передачи и проверка возможности создания редуктора с перекрещивающимися осями входного и выходного валов, причем с возможностью изменения угла перекрещивания в процессе работы.

Данная цель достигалась путем твердотельного моделирования в системе Siemens NX 7.5[®] и симуляции движения. Модель редукторного узла представлена на рис. 2. Ведущий вал 1, располагаемый в корпусе 2 на двух подшипниках, несет на консоли сферу с замкнутой беговой дорожкой 3. Наружный кулачок 4, закрепленный в корпусе, контактирует волнообразной кулачковой поверхностью 5 с телами качения 6. Тела качения перемещаются по беговой дорожке 3 ведущего вала, по беговой дорожке 5 кулачка 4 и вдоль пазов 8 ведомого вала 7.

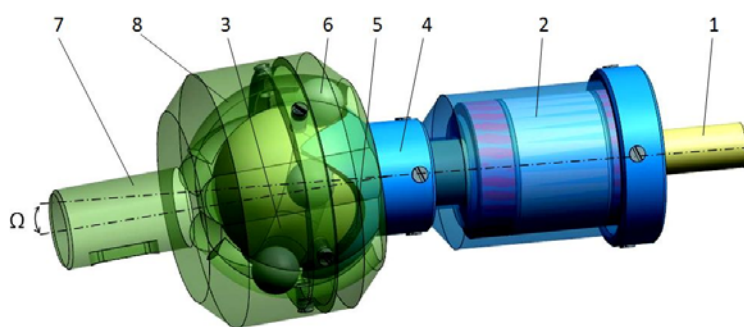


Рис. 1. Модель сферического редуктора с передаточным отношением 5

Наружная сферическая обойма выполнена составной для повышения технологичности ее изготовления. Результаты моделирования подтвердили работоспособность передачи при изменении угла Ω в процессе ее работы и обеспечении постоянства передаточного отношения. Разработана рабочая документация на данный редуктор.

Литература

1. Сферическая планетарная шариковая передача : пат. 13767 С1 Респ. Беларусь, МПК (2009) F 16Н 25/00 / М. Е. Лустенков ; заявитель М. Е. Лустенков. – № а 20081272 ; заявл. 09.10.08 ; опубл. 30.10.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5. – С. 119.

УДК 674.055

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫХОДА СТРУЖКИ ИЗ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ПЛИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

П. В. Рудак, Д. В. Куис, О. Г. Рудак

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

Исследование выполнялось при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Цель работы – установление закономерностей движения частиц стружки и пыли при выходе из зоны резания плитных древесных материалов при фрезеровании в широких диапазонах параметров режима резания. Результаты данного исследования необходимы для разработки энергосберегающей системы эффективного удаления отходов из зоны резания фрезерных деревообрабатывающих станков.

Для математического моделирования рассматривалась частица стружки массой m древесностружечной плиты (ДСтП), находящаяся в межзубой впадине инструмента и участвующая в круговом движении с циклической частотой ω в результате вращения фрезы радиусом R , осуществляющей полное фрезерование (раскрой материала) (рис. 1).

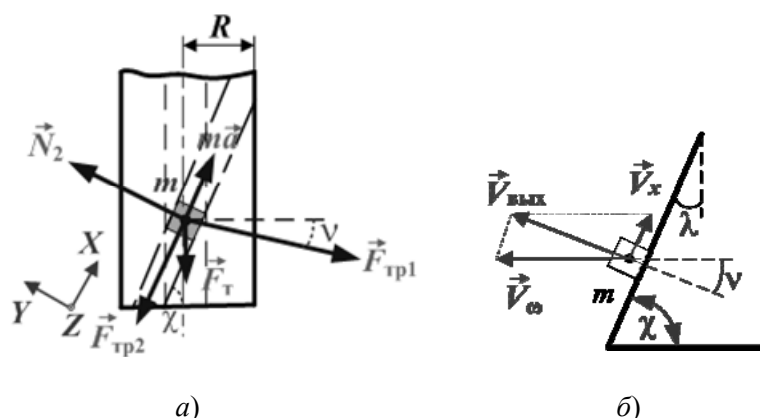


Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу стружки в межзубой впадине фрезы (а), и схема векторов скоростей движения частицы стружки (б)

Установлены математические зависимости, позволяющие определять угол ν схода стружки с учетом широких диапазонов значений частоты вращения и радиуса фрезы, угла наклона кромки λ , массы стружки, коэффициентов трения μ_1 стружки по поверхности обрабатываемого материала и μ_2 по поверхности лезвия.

Установлено, что при увеличении угла λ от 0° до $11,3^\circ$ угол ν схода стружки отрицателен – стружка при выходе направлена вниз. При этом вектор скорости V_x движения стружки вдоль лезвия направлен вниз, что приводит к незначительному увеличению скорости $V_{\text{вых}}$ выхода стружки из зоны резания. При $\lambda = 11,3^\circ$ угол схода стружки $\nu = 0$ – стружка покидает зону резания, двигаясь в плоскости, перпендикулярной оси вращения фрезы. При дальнейшем увеличении угла λ стружка покидает зону резания, будучи направленной вверх, при этом скорости V_x возрастает. С увеличением угла λ более 55° , угол ν начинает уменьшаться.

Установлена зависимость угла ν схода стружки от частоты n вращения фрезы. Для фрезы диаметром 20 мм, угла $\lambda = 25^\circ$ при частоте вращения фрезы $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ угол схода стружки $\nu = 2,6^\circ$, а при частоте вращения фрезы $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ угол схода стружки $\nu = 9,4^\circ$ и с дальнейшим увеличением частоты вращения угол схода стружки изменяется незначительно, оставаясь на уровне $\nu = 10^\circ$.

Диаметр фрезы не оказывает существенного влияния на угол ν . Значительное влияние на угол ν оказывают коэффициенты трения μ_1 и μ_2 .

УДК 621.891:536.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ДИСКАХ МАСЛООХЛАЖДАЕМОГО ТОРМОЗА

М. Ю. Целуев

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

Несмотря на непрерывное совершенствование конструкций и технологий изготовления, одной из основных проблем при эксплуатации многодисковых маслоохлаждаемых тормозов (ММОТ) остается влияние температурных режимов работы дисков на параметры функционирования тормоза. Наиболее неблагоприятным с точки зрения уровня нагрева дисков является длительный стационарный режим трения, имеющий место, например, при работе ММОТ в режиме поддержания заданной скорости движения карьерных самосвалов на затяжном спуске.

В работе сформулирована краевая задача, описывающая нестационарное температурное поле в паре трения тормоза при стационарных условиях трения дисков. Исследование влияния конструкционных и эксплуатационных параметров на особенности формирования температурных полей в трущихся дисках осуществляли путем численного решения краевой задачи методом конечных элементов с использованием многофакторного планирования эксперимента второго порядка. Значения постоянных параметров и диапазоны изменения варьируемых факторов, использованные при проведении исследования, соответствовали величинам, характерным для конструкции и режимов работы дисков из фрикционного материала на основе целлюлозных волокон (ФМВ), фрикционного композиционного материала на полимерном связующем (ФКМ) и фрикционного металлокерамического материала (ФМК) ММОТ карьерного самосвала грузоподъемностью до 60000 кг.

Установлено наличие стадий неустановившегося и установившегося теплового режимов работы пар трения тормоза. Длительность неустановившегося теплового режима работы пар трения снижается с ростом расхода охлаждающего масла, повышением интенсивности теплообмена дисков с маслом и конструктивными элементами тормоза, увеличением коэффициентов теплопереноса материала фрикционной накладке. Показано, что перепад температур по толщине накладке из ФМВ в 275,7...280,2 раза превышает аналогичный параметр для стальных элементов пары трения, для накладке из ФКМ – в 132,3...134,3 раза, из ФМК – в 4,4...4,5 раза. Неравномерность распределения температуры на поверхности трения промежуточного диска по угловой координате составляет не более 0,8 %, что свидетельствует о формировании близкого к осесимметричному температурного поля в диске. Максимальная температура на фрикционном контакте развивается в интервале 0,93...0,95 от величины внешнего радиуса трения дисков.

Установлено, что тепловая нагруженность пары трения тормоза при прочих равных условиях линейно увеличивается с ростом мощности трения дисков и увеличением ширины масляных канавок на поверхности трения фрикционной накладки. Максимальная температура, развиваемая на фрикционном контакте дисков, нелинейно снижается с ростом расхода масла на пару трения до 600 см³/с. При дальнейшем увеличении расхода масла тепловая нагруженность фрикционного контакта трущихся дисков практически не изменяется. Уменьшение величины коэффициента взаимного перекрытия поверхностей трения в интервале 0,5...0,8 приводит к нелинейному снижению максимальной температуры нагрева дисков. Показано, что замена материала накладки фрикционного диска с ФМВ на ФКМ ведет к снижению максимальной величины относительной температуры в паре трения в 1,13 раз, а на ФМК – в 1,47...1,64 раз.

УДК 531.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ХРОНОМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПЕРЕКАТЫВАЮЩИМША ШАРИКОМ

Д. В. Комнатный

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

Для повышения устойчивости и точности хода приборов времени находят широкое применение колебательные системы с двумя степенями свободы. В частности, предложены системы, в состав которых входит перекатывающийся тяжелый шарик. Тем не менее в литературных источниках отсутствует подробный анализ конструкций и динамики указанных систем. В связи с этим в статье предпринято сравнительное рассмотрение конструкции одной из хронометрических колебательных систем, предложенных С. А. Абрамовым, с целью выявления ее достоинств и недостатков для практики.

Система С. А. Абрамова представляет собой желоб, выгнутый в форме отрезка окружности и закрепленный на оси в его наинизшей точке. По желобу перекатывается небольшой тяжелый шарик. Методом уравнений Лагранжа второго рода были получены уравнения колебаний системы:

$$\left(J - 4Mar + I_2 \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right) \ddot{\theta} - I_2 \frac{R}{r} \frac{R-r}{r} \ddot{\varphi} + Mga\theta = 0;$$

$$\left(I_2 \left(\frac{R-r}{r} \right)^2 + m(R-r)^2 \right) \ddot{\varphi} - \frac{R}{r} \frac{R-r}{r} I_2 \ddot{\theta} + mg(R-r)\varphi = 0, \quad (1)$$

где J – расчетный коэффициент, кг · м²; I_2 – момент инерции шарика, кг · м²; M – масса желоба, кг; a – расстояние от геометрического центра желоба, до его центра тяжести, м; R – радиус желоба, м; r – радиус шарика, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; θ – угол поворота желоба относительно вертикали, рад; φ – угол поворота шарика относительно геометрического центра, рад.

При этом предполагалось, что трение в системе пренебрежимо мало; малы амплитуды колебаний по обеим обобщенным координатам. При выводе уравнений (1) были отброшены члены второго порядка малости.

Для сравнения была рассмотрена колебательная система, отличающаяся от предыдущей конструкцией желоба. Он имеет форму кольца, закрепленного на оси в его центре. Уравнения колебаний этой системы получены тем же методом в практикуме проф. Нойбера и имеют вид:

$$\left(MR^2 + \frac{mR^2}{2} \right) \ddot{\theta} - \frac{1}{2} mR(R-r) \ddot{\phi} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{3m}{2}(R-r)^2 \ddot{\phi} - \frac{m(R-r)R}{2} \ddot{\theta} + mg(R-r)\phi = 0.$$

При их выводе также принято пренебрежимо малым трение. Колебания шарика приняты малыми, но принимать малыми колебания желоба не потребовалось. Не возникло необходимости и отбрасывать члены второго порядка малости.

Сравнение уравнений динамики обеих систем показывает, что в уравнениях (2) положение о малости колебаний имеет не столь существенное значение, как при выводе системы (1). Коэффициенты уравнений системы (2) вычисляются проще, чем коэффициенты системы (1). Поэтому для системы с кольцеобразным желобом проще осуществить расчет собственных частот колебаний, следовательно, и спроектировать часовой механизм. Поэтому на практике предпочтительна система с кольцевым желобом.

УДК 536.2.01

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЗОНАТОРА

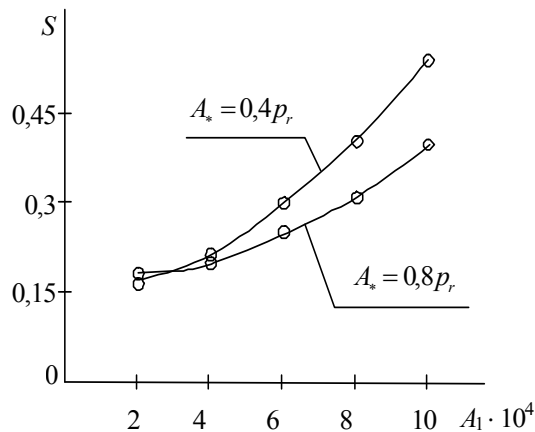
О. Н. Шабловский, И. А. Концевой

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

В работе изучены амплитудные, частотные и гистерезисные свойства тепловых колебаний, возбуждаемых поверхностным импульсно-периодическим источником энергии в высокотемпературной сверхпроводящей керамике $Y_{0,8} - Sm_{0,2} - Ba_2 - Cu_3 - O_{7-x}$. Теплофизическая модель включает в себя уравнение баланса энергии и закон Максвелла релаксационного теплопереноса. Вынужденные колебания возбуждаются поверхностным источником энергии, действующим на левую границу образца:

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

где x – декартова координата; t – время; q – удельный тепловой поток; T – температура. Образец материала представляет собой плоскую пластину толщины h , расположенную перпендикулярно вектору теплового потока, направленного на пластину. Здесь $q_0(t)$ – плотность потока энергии, поглощенной поверхностью образца материала, T_w – температура правой стенки; $x \in [0, h]$, $t \geq 0$. Импульсно-периодическое тепловое воздействие на материал изучено для двух вариантов: 1) постоянная частота колебаний, $q_0(t) = H(\sin(pt/2))^2$; $p, H - \text{const}$; 2) частота возбуждения $p(t)$ – немо- нотонная функция времени, $q_0(t) = H(\sin(P(t)/2))^2$, $p(t) = dP(t)/dt$.



Решение краевой задачи выполнено численным методом интегральных соотношений А. А. Дородницына. Расчеты выполнены для трех типов нелинейности температуропроводности $a(T)$. Изучено влияние толщины h образца, длительности всплеска частоты, определяемой параметром A_1 , и величины всплеска A_* на площадь петли гистерезиса S в плоскости «частота – добротность» при различных режимах изменения частоты $p(t)$. Типичный пример зависимости $S = S(A_1)$ показан на рис. 1, где p_r – резонансная частота. Представлены закономерности поведения динамического теплового гистерезиса в условиях сильной физической нелинейности процесса [1], [2].

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергоэффективность 1.10.3».

Литература

1. Шабловский, О. Н. Нелинейные свойства вынужденных колебаний локально-неравновесного теплового поля / О. Н. Шабловский, И. А. Концевой // *Тепловые процессы в технике*. – 2010. – Т. 2, № 6. – С. 267–274.
2. Шабловский, О.Н. Физическая нелинейность и вынужденные колебания теплового поля высокотемпературного сверхпроводника / О. Н. Шабловский, И. А. Концевой // *Материалы. Технологии. Инструменты*. – 2011. – Т. 16, № 1. – С. 30–37.

УДК 536.2.01

ВЫНУЖДЕННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ В НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЕ «МАТЕРИАЛ – ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ»

О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль

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

Изучается уравнение синус-Гордона следующего вида:

$$T_{tt} - T_{\alpha\alpha} = k_v(T, t), \quad (1)$$

$$k_v(T, t) = -\sin[T - T_0 + f(t)] + k_1^2 f(t).$$

Физическое истолкование решения дается в терминах теории теплопереноса. Приняты обозначения: T – температура; q – удельный тепловой поток; t – время; x – декартова координата; $k_v(T, t)$ – функция, описывающая мощность источников

энергии; $\alpha = x/w$; w – скорость распространения тепловых возмущений; независимая переменная в роли нижнего индекса означает частное дифференцирование по этой переменной. Источниковый член $k_v(T, t)$ имеет два отличительных признака: а) отклонение аргумента синуса есть периодическая функция времени, $f(t) = f_1 \sin k_1 t$, $f_1, k_1 = \text{const}$; б) внешний источник энергии $k_1^2 f(t)$ имеет амплитуду $A_1 = f_1 k_1^2$, пропорциональную квадрату частоты k_1^2 . Функция $\Theta(\alpha, t) = T - T_0 + f(t)$ удовлетворяет уравнению $\Theta_{\alpha\alpha} - \Theta_{tt} = \sin \Theta$. В отсутствие внешнего возбуждения ($f_1 = 0$) периодическое по t решение уравнения (1) обладает «собственной» частотой $\sqrt{1-m^2}$, $0 < m^2 < 1$. Отношение частот $a = \sqrt{1-m^2} / k_1$ является важнейшим параметром задачи. В статье представлены результаты исследования уравнения (1) по следующим направлениям: 1) влияние частотного параметра a на пространственно-временную структуру теплового поля, на его градиентные и гистерезисные свойства; построение трехмерных (T_t, T_α, T) фазовых портретов системы; 2) когерентность колебаний в системе «среда – реономный источник энергии»; 3) производство энтропии σ в поле внешнего периодического источника и анализ (q, σ, T) фазовых портретов системы. На рис. 1 представлены два примера нетривиального поведения изучаемой системы.

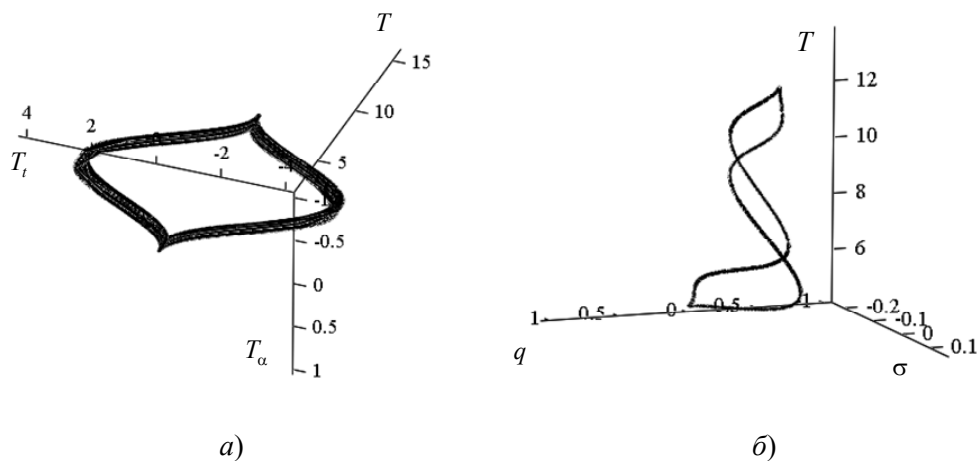


Рис. 1

Прикладные аспекты данной работы связаны с проблемой локально-неравновесного теплопереноса при взрывной кристаллизации аморфных пленок [1], [2].

Литература

1. Shablovsky, O. N. // Crystallography Reports, Vol. 50, Sappl. 1. – 2005. – P.S. 62–67.
2. Шабловский, О. Н., Кроль Д. Г. // Тепловые процессы в технике. – № 5. – 2010. – С. 203–207.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

С. Ф. Андреев

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

Целью данной работы является построение алгоритма решения геометрически нелинейной задачи об изгибе бесконечной пластины, ослабленной криволинейным концентратором напряжений произвольной заданной формы (включения, щели, отверстия, трещины и др.).

Задача сводится к решению системы уравнений Кармана относительно функции больших прогибов $w(x, y)$ и функции напряжений Эри $F(x, y)$:

$$D\nabla^2\nabla^2w = g + \left(\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) h,$$

$$\nabla^2\nabla^2 F = E \left(\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \cdot \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

где D – цилиндрическая жесткость; h – толщина пластины; ∇^2 – дифференциальный оператор Лапласа; E – модуль упругости.

Для приближенного решения в случае произвольно заданной формы контура, изменяющейся в процессе деформации, будем использовать метод комплексных потенциалов Колосова–Мухелишвили в сочетании с конформным отображением [1].

Решение уравнений (1) ищем методом малого параметра, вводя в расчеты величину $\beta = h/R_0$, где R_0 – характерный размер криволинейного контура концентратора:

$$w = \sum_{j=0}^N w_j \beta^{2j}, \quad F = \sum_{j=0}^N F_j \beta^{2j}.$$

Форма контура определяется конформным отображением $x + i \cdot y = \omega(\xi)$. Здесь $\xi = \rho \cdot e^{i\vartheta}$ – комплексные криволинейные локальные координаты, $0 \leq \vartheta \leq 2\pi$, $\rho \geq 1$, $i = \sqrt{-1}$. Дальнейшее решение сводим к решению бигармонических уравнений:

$$\begin{cases} \nabla^2\nabla^2(Kw_0(\xi, \bar{\xi})) = 0, & \nabla^2\nabla^2(Kw_j) = h \cdot L_1(F_{j-1}(\xi, \bar{\xi}), w_{j-1}(\xi, \bar{\xi})), \\ \nabla^2\nabla^2 F_0(\xi, \bar{\xi}) = E \cdot L_2(w_0(\xi, \bar{\xi})), & \nabla^2\nabla^2 F_j = E \cdot L_2(w_j(\xi, \bar{\xi})), \end{cases} \quad (2)$$

где $L_1(F(\xi, \bar{\xi}), w(\xi, \bar{\xi}))$ и $L_2(w(\xi, \bar{\xi}))$ – дифференциальные операторы правых частей уравнений (1) в криволинейных координатах.

Для решения неоднородных уравнений (2) в каждом J -м приближении используем комплексные потенциалы $\Phi_j^{(S)}(\xi)$ и $\Psi_j^{(S)}(\xi)$, ($S=1,2$), регулярные в области $\xi \geq 1$ и удовлетворяющих граничным условиям для $\xi = \sigma = e^{i\vartheta}$:

$$\begin{aligned} & \chi^{(S)} \cdot \Phi_J^{(S)}(\tau) + \Phi_J^{(S)}(\tau) - \frac{\sigma^{-2}}{\omega(\tau)} \left\{ \omega(\sigma) \overline{(\Phi_J^{(S)}(\sigma))}' + \overline{\omega'(\sigma)} \cdot \overline{\Psi_J^{(S)}(\sigma)} \right\} = \\ & = \chi^{(S)} \cdot \Phi_{J-1}^{(S)}(\tau) + \Phi_{J-1}^{(S)}(\tau) - \frac{\sigma^{-2}}{\omega(\tau)} \left\{ \omega(\sigma) \overline{(\Phi_{J-1}^{(S)}(\sigma))}' + \overline{\omega'(\sigma)} \cdot \overline{\Psi_{J-1}^{(S)}(\sigma)} \right\}. \end{aligned}$$

Литература

1. Мухелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мухелишвили. – М. : Наука, 1966. – 707 с.

УДК 519.6:539.3

ТРЕУГОЛЬНЫЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ В ДЕКАРТОВОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

К. С. Курочка, О. В. Роговцова

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

При проектировании реальных технических систем и их дальнейшего исследования с использованием метода конечных элементов инженер сталкивается с необходимостью использования конечных элементов различных типов. Для уменьшения сложностей при формировании глобальной матрицы жесткости подобных систем целесообразно осуществлять построение локальных матриц жесткости в системе координат одного вида.

Рассмотрим линейный треугольный конечный элемент, в каждом узле которого будет по 2 степени свободы. Функцию перемещений будем аппроксимировать следующими соотношениями:

$$F(x, y) = \begin{Bmatrix} u(x, y) \\ \vartheta(x, y) \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^3 \left([E] \{N_i\} \begin{Bmatrix} u(x_i, y_i) \\ \vartheta(x_i, y_i) \end{Bmatrix} \right),$$

где $u(x, y)$, $\vartheta(x, y)$ – искомые перемещения вдоль оси X и Y соответственно; $N_i(x, y)$ – функция формы $i^{\text{го}}$ узла; $[E]$ – единичная матрица размерности 2×2 ; i – номер узла конечного элемента; x_i, y_i – координаты i -го узла.

Направим координатные оси вдоль сторон треугольника и положим длины этих сторон равными единице, тогда функции формы примут вид:

$$N_1(x, y) = 1 - x - y; \quad N_2(x, y) = x; \quad N_3(x, y) = y.$$

В случае произвольно ориентированного треугольника функции формы могут быть найдены с помощью преобразования координат. Будем считать, что данный элемент находится в косоугольной локальной системе координат, которая связывается с исходной декартовой системой соотношениями вида:

$$\{x^*\} = [\Xi] \{x\},$$

где x^* – вектор локальных координат; x – вектор глобальных координат;

$$[\Xi] = \frac{1}{2S} \begin{bmatrix} y_3 - y_1 & x_1 - x_3 & x_3 y_1 - x_1 y_3 \\ y_1 - y_2 & x_2 - x_1 & x_1 y_2 - x_2 y_1 \\ 0 & 0 & 2S \end{bmatrix} - \text{матрица координатных преобразований};$$

x_i, y_i ($i = \overline{1,3}$) – координаты узлов треугольника в глобальной системе координат.

Переход от локальной системы координат к глобальной будем осуществлять при нахождении локальной матрицы жесткости, т. е. при вычислении определенного интеграла в принципе возможных перемещений [1]. Для этого по известным математическим правилам выполним замену переменных по последним формулам. В итоге будет найдена матрица жесткости для треугольного элемента уже в глобальной системе координат.

Литература

1. Zienkiewicz, O. C. The finite element method. Vol. 1: the basis. Fifth edition / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. – Boston : Butterworth-Heinemann, 2000. – 694 p.

УДК 658.512.011.56

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А. В. Петухов

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

Современный этап развития систем автоматизированного проектирования характеризуется усилением межсистемных связей. Сегодня уже недостаточно просто автоматизировать процессы конструкторского или технологического проектирования, важной задачей является передача выходной информации конструкторского этапа проектирования на вход системы проектирования технологических процессов, а также передача результатов технологического проектирования в систему для их графического отображения в виде операционных эскизов.

Указанный подход реализован в системах автоматизированного проектирования конструкций T-FlexCAD и технологических процессов TechnoPro. Их совместное использование стало возможным благодаря системам TehnoCad и TehEskiz, посредством которых реализуется информационное взаимодействие систем T-FlexCAD и TechnoPro, также передача необходимой информации для автоматизированного проектирования технологических эскизов.

В этой связи весьма актуальной является задача методической поддержки процесса создания интегрированных систем конструкторско-технологического проектирования. Речь идет о последовательности действий, приводящих к созданию интегрированной системы. Указанная последовательность может быть представлена в следующем виде:

1. Разработать систему классификации, кодирования и состава параметров поверхностей машиностроительных конструкций.
2. Классифицировать, кодировать и описать состав параметров поверхностей машиностроительных конструкций.
3. Результаты классификации, кодирования и описания состава параметров поверхностей машиностроительных конструкций графически представить в виде схемы.

4. Выявить взаимосвязи описаний поверхностей машиностроительных конструкций с наименованиями обрабатываемых элементов в сочетании с характеристиками.

5. Определить наборы ключевых слов? соответствующих наименованиям обрабатываемых элементов в сочетании с характеристиками.

6. Определить наборы наименований операций, при описании переходов которых используются определенные в пункте 5 ключевые слова.

7. Определить наборы наименований оборудования, используемого при выполнении операций, определенных в пункте 6.

8. Формализовать методики определения:

а) припусков на обработку элементов;

б) режимов обработки;

в) трудоемкости.

Приведенная методика была апробирована при выполнении научно-исследовательской работы студентов в период 2010–2012 гг.

Полученные результаты легли в основу трех работ студентов машиностроительного факультета по тематике интеграции систем проектирования, подготовленных и представленных на республиканский конкурс научных работ студентов вузов республики Беларусь и отмеченных дипломами.

УДК 678.073:678.05

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ НИЗКОПЛАВКИХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Е. В. Иноземцева

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

В настоящее время интерес представляет разработка новых композиционных материалов, сочетающих высокую износостойчивость с химической стойкостью при эксплуатации во влажных агрессивных средах. Для этих целей представляется перспективным использовать в качестве основы композиционных материалов низкоплавкие полиэфирные (ПЭФ), крупнотоннажно производимые в Республике Беларусь.

Следует отметить, что низкоплавкие полиэфирные по ряду показателей нуждаются в модифицировании свойств. Наиболее общим недостатком этой группы материалов является повышенная хрупкость получаемых из них пленок, покрытий, оболочек. Формируемые пленки часто содержат газообразные включения, которые ухудшают свойства полимеров, не позволяя получать тонкие слои и покрытия высокого качества. Прочность адгезионных соединений низкоплавких полиэфиров с твердыми поверхностями в ряде случаев оказывается недостаточной для реализации условий совместной работы полимеров с субстратами. Эти и другие недостатки исходных полимеров могут быть устранены за счет модифицирования свойств путем рационального сочетания различных функциональных компонентов в композиционном материале. Подбор компонентов и их сочетание базируется на предварительных оценках действия каждого из них на свойства полимеров с учетом показателей качества материала и изделий в условиях эксплуатации.

Целью настоящей работы является оптимизация состава композиционного материала по критерию реологических характеристик.

Для опытно-промышленной проверки композиционных материалов в процессах получения износостойчивых покрытий и облицовок металлоизделий предложен ряд рецептов. Основой композиционных материалов являлся низкоплавкий полиэфир с температурой плавления 165 °С. В качестве модифицирующих добавок были использованы полиэтилен низкого давления (ПЭНД) и полиэтилен высокого давления (ПЭВД), слюда, фосфогипс, двуокись титана, тальк, графит, сажа, пигменты фталоцианиновые.

Композиционные составы получали механическим смешением компонентов в лопастном смесителе. Оценку реологических свойств композиций на основе низкоплавкого ПЭФ оценивали по показателю текучести расплава (ПТР) на приборе типа ИИРТ-2 (измеритель индекса расплава термопластов) при нагрузке 2,16 в интервале температур 160–210 °С по стандартной методике.

Определены ПТР расплава композиций в широком диапазоне температур и оценена эффективность действия различных модифицирующих добавок на изменения реологических свойств низкоплавкого полиэфира. Показано, что наиболее приемлемыми реологическими свойствами для получения износостойчивых покрытий обладают композиции с содержанием ПЭНД, талька, двуокиси титана и пигмента фталоцианинового. Оптимальное содержание полиэтилена, при котором реализуется технологическая совместимость полимеров, находится в пределах 10–15 мас. %.

Разработанный композиционный материал на основе низкоплавкого полиэфира может быть рекомендован для получения защитной оболочки металлического троса.

УДК 621.9.0116517.962.1

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА

М. И. Михайлов, А. Н. Ромачков

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

Одним из основных элементов, влияющих на точность станка, является крестовый стол, а крестового стола – направляющие. Геометрическая и статическая точность направляющих зависит от условий контакта, кроме того, в конструкциях направляющих используются композиционные материалы на основе полимеров. Определено влияние условий контакта в направляющих на перемещения узлов станка под действием нагрузки.

Для расчетов точности была создана трехмерная твердотельная модель крестового стола. Модель построена по аналогу крестового стола станка 21104П7Ф4.

Полученная модель условно разделялась на элементы (рис. 1). В подвижных соединениях условия контакта описывались с применением коэффициента трения. Если элементы линейные – деформации в пределах элементов постоянные, если элементы параболические – деформации изменяются линейно.

На основе компонентов напряженно-деформированного состояния и параметров прочности материала (материалов) производилось вычисление эквивалентных напряжений по выбранному критерию прочности.

В качестве граничных условий вводились ограничения перемещений основания, имитируя тем самым крепление его к фундаменту. Нагрузку прикладывали к той части стола, которая обеспечивала наихудший вариант, при этом ее численное значение принимали равной максимальной осевой силе, соответствующей обработке детали на станке. Она принималась по паспорту станка и была равна 10000 Н.

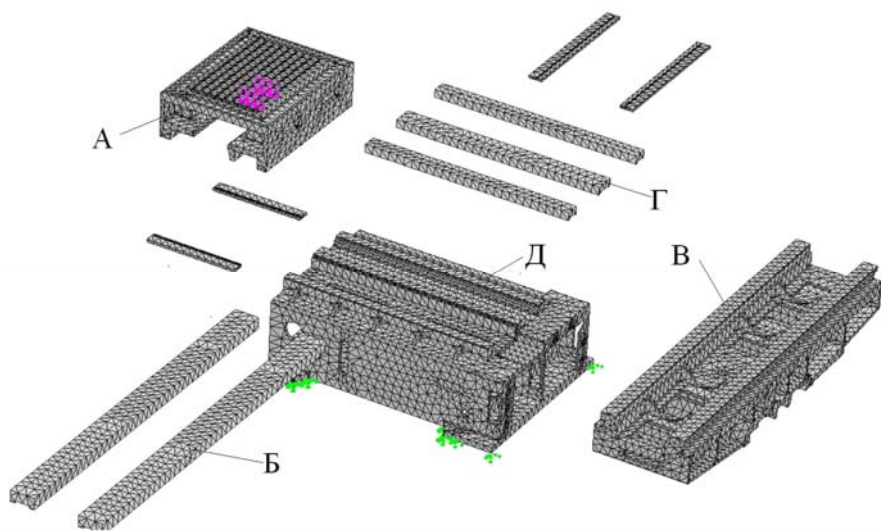


Рис. 1. Сетка модели крестового стола

Для оценки адекватности полученных результатов были проведены экспериментальные исследования статической точности стола. Схема нагружения аналогична той, которая использовалась при испытаниях твердотельной модели крестового стола.

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что максимальные статические перемещения с достаточной точностью согласуются с результатами расчетов.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ОБРАЗУЮЩУЮ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

М. И. Михайлов, В. Д. Богацкий

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

Особое место среди машиностроительной продукции занимают детали с периодическими профилями, такие как зубчатые колеса, зубчатые муфты, детали шлицевых соединений и др., обработка которых преимущественно осуществляется методом обката с использованием червячных фрез.

Несмотря на значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных этим инструментам, вопросы влияния точности инструмента на качество полученной детали разработаны недостаточно.

Для математического описания эвольвентного профиля, получаемого методом обката инструментом реечного типа, использовался метод преобразования координат.

На рис. 1 изображена расчетная схема станочного зацепления, в которой неподвижная $X_0O_1Y_0$ и подвижная XAY системы координат.

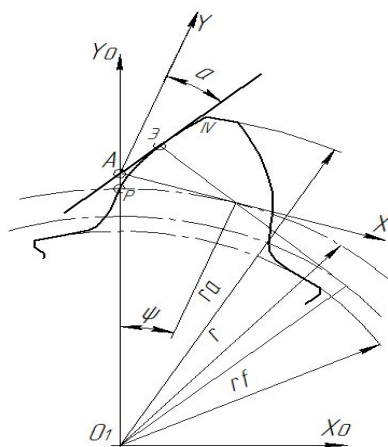


Рис. 1. Расчетная схема

По результатам моделирования была построена кривая изменения погрешности по длине боковой поверхности зуба (рис. 2).



Рис. 2. График изменения погрешности по длине образующей боковой поверхности зуба зубчатого колеса

Кроме того, были проведены исследования влияния накопленной погрешности по шагу зубьев, их радиальное биение, погрешность взаимного расположения на точность нарезаемых колес. Анализируя результаты исследования, можем сделать вывод, что наибольшее влияние на точность кинематической образующей зубьев зубчатых колес оказывает неравномерность шага зубьев инструмента.

УДК 631.372

**ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ПОДЪЕМНО-НАВЕСНЫХ УСТРОЙСТВ МОБИЛЬНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

В. Б. Попов

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

Мобильный машинный агрегат, состоящий из мобильного энергетического средства (МЭС) – трактора, универсального энергетического средства, фронтального

погрузчика и агрегируемой с ним навесной машины (НМ) или орудия, эксплуатируется в трех режимах: рабочем, транспортном и режиме перевода навесной машины из рабочего положения в транспортное. Наличие широкого шлейфа сменного рабочего оборудования позволяют МЭС успешно решать проблему механизации труда в случаях, когда использование специализированных машин нецелесообразно. Агрегирование МЭС с НМ в каждом конкретном режиме, помимо всего прочего, существенно зависит от выходных параметров подъемно-навесного устройства (ПНУ) МЭС, в основном определяющих количественную оценку и качественный характер агрегирования.

В результате многочисленных теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что для рабочего режима важным фактором является расположение координат мгновенного центра вращения (МЦВ) НМ. Он находится в продольно-вертикальной плоскости на пересечении линий, продолжающих верхнюю и нижнюю тяги механизма навески ПНУ. Расположение МЦВ НМ относительно МЭС оказывает, например, влияние на способность рабочих органов НМ к заглублению в почву без принудительного воздействия действующих на НМ внешних сил. Оно должно учитываться и выбираться на этапе эскизного проектирования таким образом, чтобы момент, создаваемый внешними силами относительно МЦВ НМ при любых условиях работы, имел положительное значение. На рабочий режим эксплуатации МТА существенно влияют: передаточные числа механизма навески, рабочая высота подъема и вылета НМ, массово-геометрические характеристики МЭС и НМ, а также давление подпора в гидроприводе ПНУ.

В режиме транспортного переезда навесная машина через МН ПНУ воздействует на МЭС и, корректируя такие характеристики МЭС как дисперсии перемещений и ускорений его центра тяжести, а также его устойчивость и управляемость, формирует аналогичные характеристики для мобильного машинного агрегата в целом.

Характеристики режима перевода НМ из рабочего положения в транспортное посредством ПНУ МЭС существенно зависят от передаточных чисел механизма навески, грузоподъемности ПНУ, максимальных высоты подъема и вылета навесной машины, а также времени её подъема и максимального давления в гидроприводе. Одна часть из этих выходных параметров находит применение в транспортном режиме, а другая часть в рабочем режиме эксплуатации ПНУ. Поэтому формализованное описание режима перевода НМ из рабочего положения в транспортное в большей или меньшей степени затрагивает и два других режима. Вышеуказанные выходные параметры ПНУ МЭС относят к основным показателям качества ПНУ, которые определяются внутренними параметрами механизма навески, гидропривода и навесного оборудования.

На основе формализованного описания режимов работы ПНУ МЭС в условиях автоматизированного проектирования сельскохозяйственной техники внутренние параметры ПНУ рационально выбираются для каждого режима работы МТА, обеспечивая наилучшие показатели качества ПНУ, закладываемые на ранних стадиях его проектирования.

УДК 631.372-503.56

ВЫБОР МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНЫХ УСТРОЙСТВ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В. Б. Попов

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

Для решения задачи параметрической оптимизации подъемно-навесного устройства (ПНУ) мобильного энергетического средства должен быть выбран математический метод, который дает возможность получить наибольший объем информации об искомом решении. Выбор подходящего метода в значительной степени определяется задачей параметрической оптимизации, а также имеющейся математической моделью анализа технического объекта.

Эффективность оптимизационных методов, позволяющих осуществить выбор наилучшего варианта без непосредственной проверки всех возможных вариантов ПНУ, тесно связана с использованием достижений в области итеративных вычислительных схем, опирающихся на обоснованные логические процедуры и применение ПЭВМ.

Постановка задачи параметрической оптимизации ПНУ МЭС среди прочего включает ряд управляемых переменных, целевые функции, а также функциональные ограничения в виде равенств и неравенств, образующих оптимизационную модель.

Анализ целевых функций и ограничений оптимизационной математической модели ПНУ показал, что большинство из них выражено нелинейными зависимостями. Поэтому данная задача параметрической оптимизации является общей задачей нелинейного программирования, свести которую без потери адекватности модели к задачам линейного, квадратичного или даже выпуклого программирования не представляется возможным. При оптимизации параметров ПНУ МЭС нельзя ничего предположить о расположении точки, в которой целевая функция принимает экстремальное значение. Эта точка может находиться как на поверхности гиперсферы, образованной поверхностями ограничений, так и внутри ее. Задача осложняется тем, что в области допустимых значений оптимизируемая функция может иметь несколько экстремальных точек, в то время как необходимо определить абсолютный экстремум.

Рассматриваемая задача относится к классу детерминированных, т. е. оптимизируемые функции являются неслучайными функциями искомых параметров, поскольку мы имеем алгоритм вычисления значений целевой функции с наперед заданной точностью при фиксированных значениях внутренних и внешних параметров.

Ни один из существующих методов не позволяет решать задачу оптимизации нелинейной многоэкстремальной многопараметрической системы с высокой точностью за приемлемое число шагов. С целью преодоления этого недостатка были использованы сведения о характере задачи, функциональных ограничениях и оптимизируемой функции и для каждого случая разработана собственная стратегия или подобран метод оптимизации.

Оптимизационная модель ПНУ имеет 14 непрерывных (в пределах параметрических ограничений) управляемых параметров. Несмотря на множественность критериев оптимальности, задачу оптимизации ПНУ на начальном этапе проектиро-

вания можно рассматривать как однокритериальную с целью исследования поведения каждой из частных целевых функций, выраженных алгоритмически.

В результате, учитывая свойства оптимизационной модели, представляется целесообразным для поиска решения использовать бионический эволюционный алгоритм, обладающий относительной простотой применения и высокой робастностью.

УДК 658.512.011.56

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

В. С. Мурашко

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

Большие перспективы для целей прогноза состояний и оптимизации технических решений имеет использование методов математической теории планирования эксперимента, которые позволяют получить достаточно представительные эмпирические данные с минимальными затратами средств и времени при исследовании сложных систем. Как правило, эксперименты проводятся для решения двух классов задач – оптимизационных и интерполяционных.

В данной работе рассматривается интерполяционная задача построения математической формулы для предсказания значений затрат времени на перемещение вручную деталей различной массы из зоны обработки к месту промежуточного хранения с тремя варьируемыми факторами: S – расстояние перемещения, с заданной областью изменения; m – масса детали, с заданной областью изменения; C_p – способ перемещения детали с двумя разновидностями – перемещение в приблизительное место и перемещение к упору.

Первоначальной задачей исследования является построение линейной математической модели исследуемого объекта. С этой целью проводится полный факторный эксперимент по следующему алгоритму:

1. Построение матрицы планирования эксперимента.
2. Построение матрицы с результатами проведения эксперимента.
3. Расчет коэффициентов регрессии.
4. Определение значимости коэффициентов регрессии.
5. Проверка «нуль-гипотезы» об адекватности полученной математической модели.
6. Проверка адекватности математической модели по критерию Фишера.
7. Перевод математической модели из кодированных значений факторов в натуральные.

Если в результате проведения линейного факторного эксперимента гипотеза об адекватности полученной модели не подтвердится, то необходимо достроить линейный план до плана второго порядка, чтобы получить новую, более адекватную математическую модель, с применением ротатабельного планирования второго порядка. Ядром ротатабельного планирования будет служить полный план, построенный для линейного факторного планирования с добавлением «звездных» и нулевых точек.

Последовательность действий построения математической модели второго порядка сходна с описанным выше алгоритмом, однако каждый шаг выполняется по своим правилам.

Решение вручную поставленной интерполяционной задачи требует очень много временных затрат и не исключает случайных ошибок, которые может допустить

разработчик. Для программной реализации предложенных алгоритмов построения линейной и ротатбельной математической модели нормативной зависимости затрат времени на перемещение деталей был использован язык VBA в Excel.

УДК 621.313.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПУЛЬСАТОРАХ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Д. В. Ткачев

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

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

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

В практике ближнего и дальнего зарубежья промышленно апробированы и широко используются технологии на основе высоконапорных струй, в частности, создание колебаний в скважинных условиях с использованием явления кавитации [1], [2].

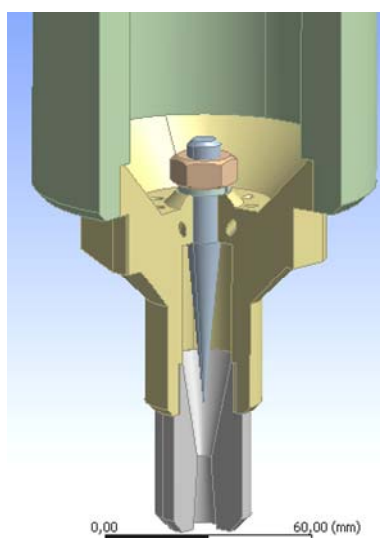


Рис. 1

Для оптимизации конструктивных параметров и изучения возможности возникновения кавитационных пульсаций в скважинных условиях методом численного моделирования исследовали влияние расхода жидкости через гидродинамический генератор (ГДГ) и гидростатического (пластового) давления на гидродинамические характеристики потока.

Для описания структуры турбулентного движения жидкой среды в скважине использована концепция коэффициента турбулентной вязкости, осредненные уравнения неразрывности и Навье-Стокса, которые позволяют вычислить среднее давление p и компоненты вектора средней скорости $V = \{v_x, v_y, v_z\}$.

Для расчета многофазного течения использовали модель Эйлера и математическую модель динамики сферической каверны Релея–Плессета с учетом вязкости, сил

поверхностного натяжения, влияния газа в камере, близости границ твердой стенки и давления соседних пузырьков.

В исследуемой конструкции ГДГ повышение скорости потока в камере завихрения, куда жидкость поступает по тангенциальным отверстиям, достигается за счет конфузора. За конфузурой следует съемная гидродинамическая насадка в виде диффузора. В камере завихрения происходит закручивание потока и достигаются значительные скорости на выходе из излучателя.

По результатам расчетов строились распределение поля скоростей и водной фазы рабочей жидкости при ее различных давлениях и расходах. Определены режимы, при которых возможно образование кавитации.

По результатам расчетов сделан вывод, что для получения кавитации в глубоких скважинах (более 2000 м) целесообразно применять тандемные установки (струйный насос-ГДГ), чтобы снизить воздействие гидростатического давления, а также проводить дополнительное насыщение рабочей жидкости газом для улучшения образования (выделения) газовой фазы.

Л и т е р а т у р а

1. Иванников, В. И. Кавитация и перспективы ее использования в нефтегазовой отрасли / В. И. Иванников, И. В. Иванников // Стр-во нефтяных скважин на суше и на море. – 2010. – № 3. – С. 14–19.
2. Омелянюк, М. В. Гидравлические генераторы колебаний в нефтегазовом деле / М. В. Омелянюк // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2011. – № 3. – С. 54–60.

УДК 621.323

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВАНИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ С ЦИКЛИЧЕСКИМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Д. Е. Храбров, И. А. Мурашко

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

Самым используемым методом генерации псевдослучайных последовательностей максимальной длины является регистр сдвига с линейной обратной связью (англ. *Linear feedback shift register, LFSR*) [1]. Однако внимание ученых направлено на использование и альтернативных методов генерации псевдослучайных последовательностей (ПСП) максимальной длины, в частности, на использование клеточных автоматов [2].

Линейный клеточный автомат представляет собой цепочку ячеек, каждая из которых функционально связана только со своими ближайшими соседями. Соотношение для всех клеток автомата: $y'[i] = f(y[i-1], y[i], y[i+1])$, где f – некоторая логическая функция; $y'[i]$ – состояние i -й клетки в следующий момент времени; $y[i-1]$, $y[i]$, $y[i+1]$ – состояние $(i-1)$, i , $(i+1)$ -й клетки в данный момент времени.

Наиболее полно исследованы клеточные автоматы на основании правил 90 и 150 с нулевыми граничными условиями (ГУ) [2]. Для них созданы таблицы конфигураций, позволяющих формировать ПСП максимальной длины. Однако использование только этих правил ограничивает свободу разработчиков цифровых систем.

В ходе проведенных исследований было показано, что расширение количества используемых правил позволяет достаточно просто находить конфигурации генераторов ПСП максимальной длины. Кроме нулевых ГУ могут использоваться и циклические ГУ, для которых комбинации правил 90 и 150 не дают решения. В данной работе предложена методика проектирования генераторов ПСП на клеточных автоматах с циклическими ГУ на основании заданного полинома с расширенным набором правил.

Методика была реализована в виде программного комплекса, который формирует описание клеточных автоматов на языке *VHDL* (как функционального, так и структурного уровней) для САПР *Xilinx ISE*. Программный комплекс также позволяет получить конфигурации правил для заданного примитивного полинома. Например, для примитивного полинома пятой степени $1 + x^3 + x^5$ было найдено 136 различных конфигураций КА с циклическими граничными условиями. Примеры конфигураций: [60 60 60 240 60], [90 240 90 240 90], [240 60 240 90 60], [90 240 170 150 60], где правило 90 – $y[i] = y[i-1] \oplus y[i+1]$; правило 240 – $y[i] = y[i-1]$; правило 170 – $y[i] = y[i+1]$; правило 150 – $y[i] = y[i-1] \oplus y[i] \oplus y[i+1]$; правило 60 – $y[i] = y[i-1] \oplus y[i]$.

Причем программа позволяет выделять конфигурации с минимальным числом используемых правил. В примере выше первые 2 конфигурации используют правила 60 и 240, 90 и 240 соответственно.

Программный комплекс позволяет находить конфигурации КА с нулевыми и циклическими ГУ для расширенного набора правил для примитивных полиномов до 50 степени. Также формируется *VHDL*-описание генератора на клеточных автоматах. В дальнейшем планируется значительно увеличить степень порождающего полинома за счет использования свойств трехдиагональной матрицы и *LU*-разложения.

Литература

1. Golomb, S. W. *Shift Register Sequences* – San Francisco : Holden-Day, 1967. – 224 с.
2. Hortensius, P. D. Parallel Random Number Generation for VLSI Systems Using Cellular Automata / P. D. Hortensius, R. D. McLeod, H. C. Card – IEEE Trans. Computers 38(10), 1989. – 1466–1473 p.

УДК 62-83: 621.313.333

АППРОКСИМАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ю. А. Рудченко

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

Асинхронные трехфазные двигатели благодаря простоте устройства, высокой надежности в эксплуатации и меньшей стоимости по сравнению с другими двигателями нашли широкое применение в промышленности и сельском хозяйстве. С их помощью приводятся в движение металлорежущие и деревообрабатывающие станки, лебедки, лифты, эскалаторы, насосы, подъемные краны, вентиляторы и другие механизмы. При проектировании и анализе режимов работы таких устройств используют механическую характеристику асинхронного двигателя. Широкое распространение при проведении аналитических расчетов и расчетов с использованием ПЭВМ получила аппроксимация по формуле Клосса.

Недостатком такой аппроксимации является существенное отличие характеристик паспортной и построенной по Клоссу, особенно на неустойчивой части, в области высоких скольжений (рис. 1).

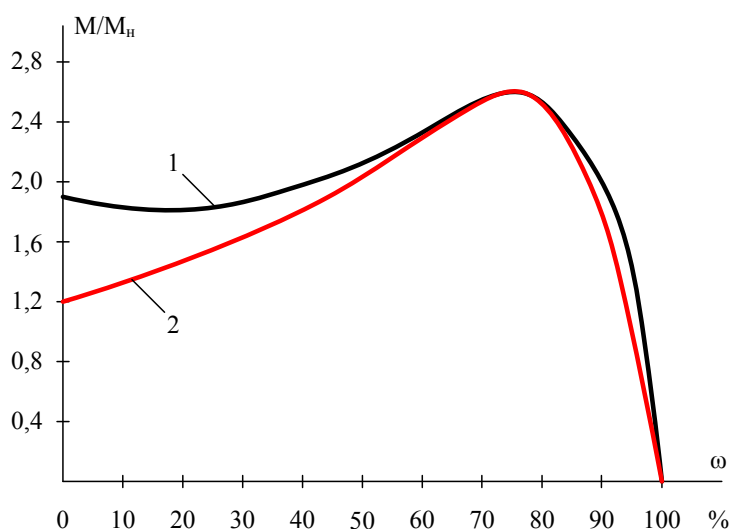


Рис. 1. Механические характеристики асинхронного двигателя:
1 – паспортная характеристика (индекс I); 2 – рассчитанная по формуле Клосса

В результате проведенной работы получена аппроксимация механической характеристики асинхронного двигателя индексов I–V в виде полинома n -й степени. Определена минимальная степень полинома, необходимая для точной (максимальная относительная погрешность менее 1 %) аппроксимации механических характеристик АД. Определены базовые точки аппроксимации механической характеристики и значения коэффициентов аппроксимации.

УДК 631.354.2.076

ОПТИМИЗАЦИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ТУРБИННОГО ВЕНТИЛЯТОРА ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В. В. Миренков, В. Ф. Хиженок

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

В настоящее время предъявляются высокие требования к очистке комбайнами зерна, поступающего после обмолота: чистота бункерного зерна не менее 98 %, а дробленого не более 1 %. Вентилятор очистки отечественных комбайнов представляет собой многолопастный крылач, частота вращения которого регулируется с помощью специального клиноременного вариатора в пределах 450...1200 об/мин.

Целью работы является оптимизация основных параметров предлагаемого турбинного вентилятора очистки зерноуборочного комбайна и составления рекомендаций по усовершенствованию конструкции.

Анализ параметров турбинного вентилятора производили с использованием современных расчетных компьютерных программ. Одним из таких представителей

расчетных программ является SolidWorks/Flow Simulation. Данный пакет предлагает широкий спектр возможностей конечно-элементного анализа, начиная от простого линейного стационарного анализа и заканчивая комплексным нелинейным анализом переходных процессов.

При расчете для облегчения задания граничных условий и учета различных динамических факторов используются исследования движения моделей сборки Motion. Исследования движения не изменяют модель сборки или ее свойства. Они моделируют и анимируют движение модели.

Для моделирования турбулентного движения используются уравнения неразрывности. При этом вычисляются следующие параметры: число Маха, коэффициент давления, общее давление и функции потока для движущейся среды. Задача течения воздуха нелинейная и основные уравнения связаны между собой. Последовательное решение уравнений с обновлением зависящих от давления параметров составляет глобальную итерацию. Количество глобальных итераций для достижения сходящегося решения может значительно варьироваться в зависимости от решаемой задачи.

При расчете были использованы следующие материалы:

- 1) вал – сталь 40х: модуль упругости – 214 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,26;
- 2) лопасти вентилятора – сталь 45: модуль упругости – 204 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,3;
- 3) втулки – сталь 18 ХГТ: модуль упругости – 203 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,29;
- 4) корпус – листовая сталь: модуль упругости – 89 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,27.

Физические свойства воздуха: плотность – $1,204 \text{ кг/м}^3$, вязкость – $1,51 (\text{м}^2/\text{с})10^{-5}$.

В результате проведенных расчетов установлено, что воздушный поток турбинного вентилятора по ширине и высоте выходного канала более равномерный по сравнению с классическим центробежным вентилятором. Относительная скорость турбинного вентиляторов в 3–4 раза выше, чем центробежных. Данная характеристика приводит к увеличению коэффициента производительности. Применение дефлектора позволяет получить скорость воздушного потока на нижнем, верхнем и дополнительном решетках в интервале 6...12 м/с и ее значение достаточно для выполнения бесперебойного технологического процесса.

УДК 631.354.2.076

АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

П. Е. Родзевич, В. В. Миренков, В. Ф. Хиженок

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

В данной работе проведено конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния режущего элемента измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна с использованием Ansys. Твердотельная модель режущего элемента была построена при помощи САПР SolidWorks.

Особенностью задачи являлось определение напряжений и перемещений ножа измельчающего барабана с использованием следующих исходных данных: материал ножа (ВЧТГ) – модуль упругости $E_1 = 170 \text{ ГПа}$ и коэффициент Пуассона $\mu = 0,27$;

болта (сталь 40Х) – $E_2 = 214$ ГПа и $\mu = 0,3$; остальные элементы (конструкционная сталь) – $E_1 = 200$ ГПа и $\mu = 0,3$. В качестве параметра нагружения задавалась сила резания и момент затяжки болтов.

Согласно рис. 1 на нож будут действовать три силы: F_1 , F_2 , F_3 . Силы F_1 и F_3 действуют в плоскости ножа и пытаются вызвать сдвиг ножа в двух плоскостях. Сила F_2 вызывает изгиб ножа и прижимной пластины. Кроме того, под действием силы F_2 болты будут испытывать не только растяжение, но и изгиб на плече c .

Силы, действующие на нож, будут определяться выражениями: $F_1 = F_p \cos \beta$;
 $F_2 = F_p \sin \beta$; $F_3 = F_p \sin \tau$.

Приняв углы установки ножа $\beta = 38^\circ$, $\tau = 10^\circ$, исходя из наиболее нагруженного случая ($F_p = 3295$ Н), определим усилия: $F_1 = 2585,2$ Н; $F_2 = 2042,9$ Н; $F_3 = 572$ Н.

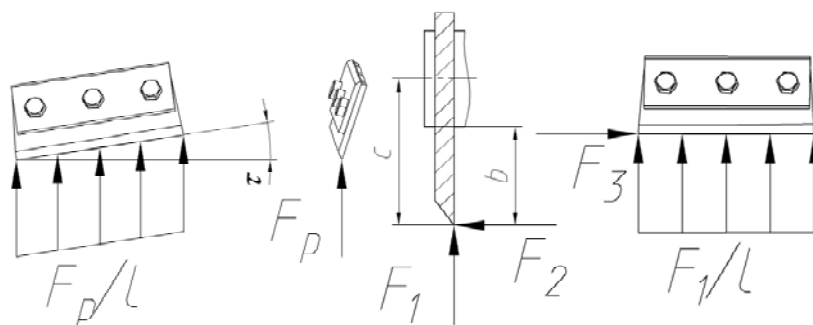


Рис. 1. Схема приложения сил, действующих на нож

Получены компоненты напряженно-деформированного состояния, включая эквивалентное напряжение по Мизесу $\sigma_{\text{эв}}$ и перемещения U_x , позволяющие оценить нагруженность ножа.

УДК 622.276

МЕХАНИКО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНФИГУРАЦИЯ ТРЕЩИНЫ КЕРНА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И. В. Царенко

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

М. А. Процкая, Е. Н. Ходьков, В. А. Банный

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

Большинство нефтяных месторождений Республики Беларусь находятся на поздних стадиях разработки, для которых необходимо применение новых материалов и технологий. Эффективность водоизолирующих составов (ВИС), применяемых для изоляции обводненного трещинного коллектора, оценивается по выдерживаемому сформированным тампонажным материалом градиенту давления при прокачке

вытесняющего агента. Для оценки структурно-механических, прочностных, адгезионных, когезионных, реологических и других характеристик ВИС необходимо создать трещины в образцах керна.

Цель работы состояла в разработке конфигурации, формировании трещины в образцах керна и оценке механико-прочностных характеристик керна при моделировании динамических исследований.

В качестве объектов исследования выбраны карбонатные низкопроницаемые образцы керна (проницаемость по газу составляет не более 1мД) диаметром 30 мм и длиной 30 ± 2 мм. На предварительно экстрагированных в аппарате Сокслета и высушенных образцах керна, с использованием прецизионного отрезного станка Secotom-10 фирмы Struers, формировали пропилы шириной 400 мкм. Подобные пропилы можно отождествлять с макротрещинами шириной раскрытия более 100 мкм. Отношение общего объема трещин к общему объему образца керна выражено в виде безразмерного коэффициента k . Пропилы разной глубины (от 8 до 23 мм) формировали плоскопараллельно (в одном из вариантов двойного пропила в образце) и от периферии к центру образца (для случая одного, трех и четырех пропилов). Предложено пять вариантов моделей трещины: одиночная ($k_1 = 2,317 \cdot 10^{-4}$); двойная плоскопараллельная ($k_2 = 5,626 \cdot 10^{-4}$, $k_3 = 7,516 \cdot 10^{-4}$); тройная – угол между пропилами составляет 120° ($k_4 = 4,092 \cdot 10^{-3}$) и четверная – угол между пропилами составляет 90° ($k_5 = 5,189 \cdot 10^{-3}$).

На установке Autoflood 700 фирмы VinciTechnologies, предназначенной для проведения фильтрационно-емкостных исследований кернового материала в динамике, оценены механико-прочностные характеристики образцов керна с различными конфигурациями модели трещины при имитации термобарических пластовых условий при плавном повышении давления до 30,0 МПа. Согласно руководству по эксплуатации установки Autoflood 700 и ОСТ 39-195–86 «Нефть. Метод определения коэффициента вытеснения нефти водой в лабораторных условиях» величина бокового гидрообжима должна превышать пластовое давление (от 10,0 МПа до 20,0 МПа) не менее чем на 3,0 МПа. При этом осевое давление (вдоль оси симметрии цилиндрического образца керна) составляло 1,0 МПа. В результате гидрообжима в 30,0 МПа образцы керна с одиночной и двойными трещинами разрушились.

Таким образом, образцы керна с тремя и четырьмя моделями трещин выдержали механические нагрузки и могут быть рекомендованы для дальнейших динамических исследований ВИС и составов для повышения нефтеотдачи пластов, что позволит оценить и сравнить структурно-механические, адгезионные, когезионные свойства, а также выдерживаемые водоизолирующим экраном градиенты давлений в условиях, приближенных к пластовым, и определить селективность ВИС.

УДК 331.015.11

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ

В. В. Спасенников

Брянский государственный технический университет, Россия

Наиболее приоритетной областью по масштабам и темпам внедрения вычислительной и интеллектуальной техники является автоматизация научно-исследовательских и проектных работ, а также работ по технологической подготовке производства. В перспективе должно быть продолжено массовое внедрение систем

автоматизированного проектирования, что обещает наиболее полный охват объектов автоматизации и создание однородной информационной среды, в которой становится возможной организация единых технологий проектирования. Этот путь является наиболее плодотворным и скоротечным для внедрения конверсионных эргономических технологий в единую технологию проектирования сложных человеко-машинных комплексов (ЧМК) с осуществлением эргономического обеспечения этого процесса [1].

Современная технология автоматизации проектных работ представляет широкий набор методов, способов и средств автоматизации процессов разработки новых изделий. Однако многообразие прикладных задач, решаемых при создании новых проектов, обуславливает необходимость интеграции этих методов и средств.

Особую сторону проблема интеграции этих методов и средств принимает при организации автоматизированного проектирования ЧМК, поскольку процесс его проектирования имеет существенную особенность по сравнению с процессом проектирования других систем, в функционировании которых не предполагается участие человека-оператора. Эта особенность связана с необходимостью учета такого специфического фактора, как человеческий, проявляющегося в необходимости одновременного использования знаний как технических дисциплин, так и естественнонаучных и гуманитарных: психологии, биологии, социологии, экономики и т. п. Междисциплинарные отрасли научного знания обладают разной степенью формализуемости и разными языками описания, разным уровнем проработки и соответствия объективным закономерностям, отличаются динамикой накопления и обновления, способами получения [2].

Целью данного доклада является теоретический анализ методических подходов, связанных с перспективными направлениями эргономического обеспечения автоматизации проектных работ при создании ЧМК [1]–[3].

1. Цели и задачи автоматизации проектных работ при создании ЧМК.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации систем автоматизации проектирования показывает, что они позволяют в первую очередь сократить время выполнения работ, повысить их качество, сделать более привлекательным труд проектировщиков и повысить его производительность. В частности, имеются данные о том, что на 10–25 % улучшаются технико-экономические показатели разрабатываемых ЧМК, более чем на 20 % сокращается длительность производственного цикла.

2. Взаимодействие проектировщика и системы автоматизации.

Внедрение эргономической системы обеспечения автоматизации избавляет проектировщика от рутинной работы, оставляя ему большие возможности для работы творческой, неформальной, повышая тем самым привлекательность его труда. «Интеллектуализация» систем автоматизированного проектирования и, в частности, успехи использования методов искусственного интеллекта в проектировании, особенно успехи в создании наукоемких дружественных интерфейсов, позволяют надеяться, что в скором времени широкое распространение получит практика решения творческих и неформальных задач.

3. Инструментальный подход к автоматизации проектных работ при создании ЧМК.

Общая концепция автоматизации проектных работ при создании ЧМК, учитывая все рассмотренные выше аспекты, может быть построена на основе идеи теории инструментальных систем. Суть инструментального подхода заключается в том, чтобы снабдить пользователя-проектировщика общим каркасом и набором «блоков», оставляя возможность изменения их числа, с помощью которых можно построить

индивидуальную систему для решения конкретного класса задач эргономического обеспечения.

Перспективное направление автоматизации проектирования ЧМК – интеграция систем автоматизированного проектирования и систем автоматизации экспериментальных исследований. Широкое применение в существующей практике проектирования ЧМК экспериментальных методов подтверждает актуальность этой проблемы. Современный уровень проведения экспериментальных исследований требует использования большего числа, в том числе датчиков и регистрирующих приборов, объединяемых сетью интерфейсной связи с системой хранения и обработки экспериментальных данных.

В заключение следует отметить, что практическая реализация и внедрение системы эргономического обеспечения автоматизации проектирования ЧМК позволит одновременно с повышением технико-экономических показателей работы систем раскрыть творческий потенциал создателя новой техники и создать методологию автоматизации проектных работ.

Л и т е р а т у р а

1. Львов, В. М. Эргономические технологии в повышении квалификации и сертификации специалистов как одно из направлений конверсии / В. М. Львов // Проблемы нострификации образовательных документов и сертификации тестовых технологий / под ред. В. Д. Симоненко, В. В. Спасенникова. – Брянск : Ладомир, 2006. – С. 54–59.
2. Спасенников, В. В. Инженерно-психологические проблемы проектирования операторской деятельности в человеко-машинных комплексах / В. В. Спасенников, В. М. Львов, В. В. Павлюченко // Психология труда, экономическая психология, эргономика. – М. : PerSe, 2007. – С. 80–106.
3. Ergoworld – English URL: <http://www/interface-analysis.com> / Ergoworld [Электронный ресурс] / Проектирование интерфейсов и юзабилити.

СЕКЦИЯ Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.2

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ СИЛЫ

А. В. Скачек, В. А. Скачек, В. Л. Соломахо, П. А. Петрусенко

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

Дозирование является одной из основных операций при производстве различного вида продукции, качество которой определяется составом и массовой долей ее компонентов. Необходимость достижения высокой точности и производительности технологических процессов делает дозирование жидких и сыпучих сред актуальной технической проблемой.

Существует большое количество факторов, влияющих на метрологические характеристики тензометрических датчиков силы, что существенно усложняет эффективность аналитического расчета их конфигураций при проектировании дозаторов для решения конкретных технологических задач. Поэтому в целях оптимизации конфигурации упругого элемента (УЭ) тензометрических преобразователей на основе анализа зон деформации и напряжений целесообразно использовать программные пакеты компьютерного моделирования, в частности ПО ANSYS®.

На рис. 1 представлены схемы стержневых и изгибных тензометрических датчиков силы, применяемых в конструкциях дозаторов и весов с наибольшим пределом дозирования (НПД) до 1000 кг.

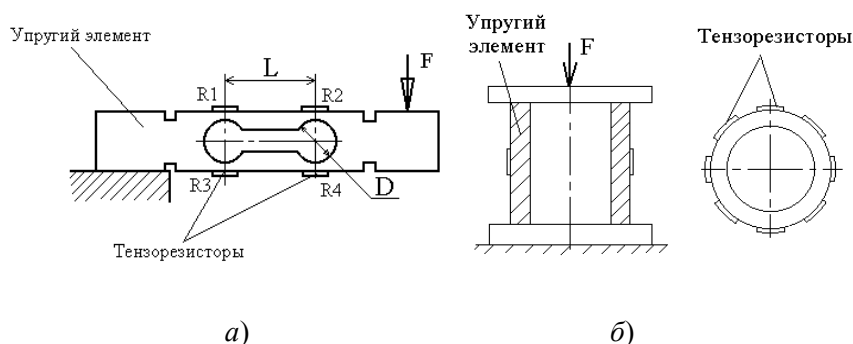


Рис. 1. Схемы стержневого (а) и изгибного (б) тензометрических датчиков силы

Конечно-элементный анализ позволяет подобрать конфигурацию УЭ с максимально выраженными упругими свойствами и использовать зоны максимальной деформации УЭ для крепления первичных тензометрических преобразователей.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для платформенных весов с наибольшим пределом взвешивания (НПВ) до 200 кг рекомендуется использовать изгибные и сдвиговые тензометрические датчики деформации, в которых в качестве УЭ применяется упругий параллелограмм, представляющий собой консольно закрепленную балку с отверстиями для образования зон деформации, а исключение взаимного влияния зон деформации в продольном и поперечном направлении обеспечивается выполнением условия: $L > 2D$.

2. Для платформенных весов с НПВ свыше 200 кг рекомендуется использовать стержневые датчики, в основе которых лежит УЭ, выполненный в виде цилиндра, по окружности которого наклеены тензорезисторы, при этом для достижения наилучшей линейности сигнала необходимо, чтобы тензорезисторы покрывали более 80 % длины окружности.

3. В зонах максимальной деформации на поверхности балки необходимо располагать тензорезистивный мост, причем при значительном диаметре УЭ тензорезистивный мост может состоять из 8 или 16 резисторов, соединенных параллельно или параллельно-последовательно.

УДК 621.372.6

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ МАТРИЦА ДЛЯ ПИТАНИЯ ВОСЬМИЭЛЕМЕНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

И. А. Фаняев, В. П. Кудин

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

Одним из ключевых элементов для многолучевой антенной решетки является диаграммообразующая схема (ДОС). Наиболее распространены многолучевые антенные решетки на основе параллельной ДОС (матрица Батлера) и последовательной ДОС (матрица Бласса). Основным недостатком ДОС – конструктивные и технологические сложности при изготовлении. Этот недостаток особенно проявляется с увеличением числа лучей многолучевой антенной решетки. Синтез ДОС с любым количеством входов описывают немало исследователей, однако в полученных схемах присутствует большое количество пересечений линий передач. В работе предложена матричная ДОС для многолучевой антенной решетки на 8 излучателей, синтезированная на основе матрицы Батлера, но с меньшим числом пересечений. На рис. 1 приведена новая ДОС 8×8 выходов. Квадратами обозначены 3 дБ направленные ответвители с разностью фаз между выходами 180° . Цифрами слева (справа) схемы обозначены входы (выходы). Жирными точками – фазосдвигатели (значения фаз представлены в градусах). Из рис. 1 видно, что схема является конструктивно более простой, поскольку имеет всего 22 пересечения линий передач – на 6 пересечений меньше, чем в классической матрице Батлера.

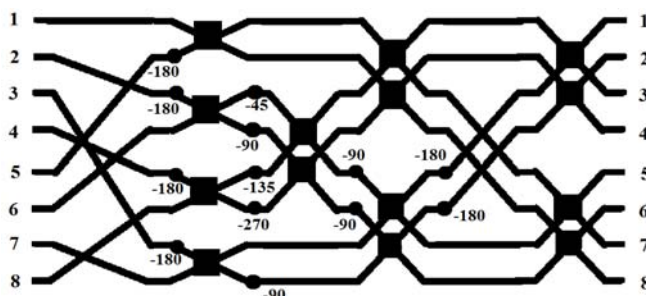


Рис. 1. Синтезированная ДОС 8×8 выходов

С помощью численного моделирования на основе теории цепей был проведен сравнительный анализ основных характеристик матрицы Батлера и предложенной схемы в частотном диапазоне 9–11 ГГц. В качестве базовых элементов в схемах бы-

ли взяты широко известный шлейфный мост с затуханием 3 дБ и набор дискретных фазосдвигателей. Были рассчитаны основные характеристики (амплитудно-фазовое распределение, коэффициенты отражения, развязка выходов, коэффициенты связи) матрицы Батлера 8×8 выходов и синтезированной ДОС. Анализ показывает, что при уменьшении частоты ухудшается развязка и значительно возрастает уровень отражений на входах обеих схем. При увеличении же частоты в схемах преобладает нарушение равного деления мощности, сигнал начинает возрастать на определенных выходах, т. е. амплитудно-фазовое распределение становится сильно осциллирующим. Значения коэффициентов передачи обеих схем лежат в пределах $9,1 \pm 0,25$ дБ в частотном диапазоне 9,7–10,28 ГГц. Для синтезированной ДОС и схемы Батлера коэффициенты связи лежат ниже –20 дБ в частотном диапазоне 9,6–10,4 ГГц. В целом все характеристики обеих распределительных матриц в диапазоне 9–11 ГГц ведут себя практически одинаково.

Таким образом, в данной работе для питания антенной решетки предложена распределительная схема 8×8 выходов, которая в сравнении с классической матрицей Батлера имеет на 6 пересечений линий передачи меньше и, следовательно, является конструктивно более простой.

УДК 621.313.333

АСИНХРОННЫЙ ФАЗОВЫЙ РАСЩЕПИТЕЛЬ

В. В. Соленков, В. В. Брель

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

В настоящее время владельцы частных подсобных хозяйств и предприниматели часто интересуются использованием трехфазных асинхронных двигателей в однофазной сети. Асинхронные двигатели конструктивно просты и надежны, что обеспечивает их широкое применение в различных станках и механизмах подсобного хозяйства. Однако эксплуатация трехфазных двигателей в однофазной сети связана с рядом трудностей. Как известно, трехфазный электрический ток порождает вращающееся магнитное поле, которое создает вращающий момент на валу электродвигателя. Однофазный ток создает пульсирующее поле, не способное привести ротор двигателя во вращение – такой ток необходимо преобразовать в трехфазный и только потом подавать на электродвигатель. С этой задачей хорошо справляются частотные преобразователи. Однако для каждого двигателя требуется один частотный преобразователь, что часто является неприемлемым. Это связано с высокой стоимостью частотных преобразователей.

Применение асинхронного фазового расщепителя позволит запитывать несколько двигателей от одного источника многофазного напряжения [1]. Асинхронный фазовый расщепитель – обычный трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. На одну из обмоток подается однофазное напряжение. Если сообщить двигателю первоначальный вращающийся момент, то он будет вращаться дальше за счет переменного однофазного напряжения в одной обмотке. Вращающийся ротор своим магнитным потоком наведет ЭДС индукции в двух других статорных обмотках, это позволит получить две дополнительные фазы напряжения. Одна из обмоток двигателя, на которую подается переменное однофазное напряжение из сети, становится возбуждающей обмоткой, формирующей магнитное поле вращающегося ротора, а он, в свою очередь, возбуждает переменное напряжение в оставшихся об-

мотках. Полученное напряжение будет подобным трехфазному, так как это обусловлено самой конструкцией электродвигателя. Напряжение на двух обмотках будет несколько меньше напряжения на возбуждающей обмотке. Эта разница составляет примерно 10–15 В и определяется конструктивными особенностями двигателя [2].

В литературе рассмотрены различные применения асинхронного фазового расщепителя [1], [2]. Однако общая теория их до настоящего времени не разработана. На кафедре «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого авторами были поставлены эксперименты, которые позволили улучшить характеристики электропривода: с помощью менее мощных асинхронных фазовых расщепителей, включенных в общую цепь питания, удалось запустить и эксплуатировать более мощный электропривод деревообрабатывающего станка. Ранее это считалось невозможным.

Литература

1. Фурсов, С. П. Использование трехфазных электродвигателей в быту / С. П. Фурсов. – Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1976. – 79 с. : ил.
2. Торопцев, Н. Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором / Н. Д. Торопцев. – М. : Энергия, 1979. – 80 с. : ил.

УДК 62-83-52

ДИНАМИКА ИНВАРИАНТНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА

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

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

Целью исследований является синтез регуляторов системы управления и анализ статических и динамических режимов инвариантного испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада (АВК).

Для обеспечения инвариантности приводной части стенда нами предложено использовать положительную обратную связь по моменту и отрицательную по скорости. С учетом предложенных обратных связей была получена структурная схема АВК (рис. 1). На основании данной структурной схемы, с помощью уравнений имитационной модели силовой части стенда [1], был произведен численный синтез системы управления и расчет переходных процессов.

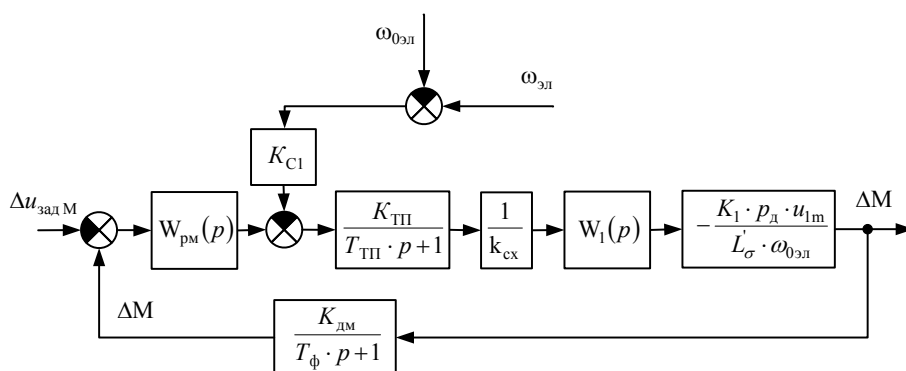


Рис. 1. Структурная схема АВК при инвариантности момента

На структурной схеме обозначены:

$$K_{Cl} = \frac{U_{1m} \cdot L_{2\Sigma} \cdot k_{cx}}{L_{12} \cdot K_{тп} \cdot \omega_{0эл}}; \quad W_1(p) = \frac{T_{2Э\Sigma} (T_{2Э\Sigma} \cdot p + 1)}{(1 + (T_{2Э\Sigma} \cdot \omega_{0эл} \cdot S_{нач})^2) (T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_1 \cdot T_1 \cdot p + 1)}$$

В результате анализа частотных характеристик контура момента были определены структура и параметры регулятора момента.

Проверка предложенной модели проводилась с помощью испытательного стенда на базе АВК с использованием асинхронного двигателя с фазным ротором марки МТФ 112-6 и двигателя постоянного тока (в качестве испытуемого) 2ПБ 132L – УХЛ4.

Результаты расчета и экспериментальных исследований статических и динамических режимов работы стенда позволяют судить о наличии инвариантности момента с синтезированной системой автоматического управления.

Л и т е р а т у р а

1. Захаренко, В. С. Исследование гармонического состава потребляемого тока автоматизированного электромеханического испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада / В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 53–58.

УДК 621.314

ПРИБОР КОНТРОЛЯ И РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Д. И. Зализный, О. Г. Широков, Г. О. Широков

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

Цель исследований: изучить возможность контроля температур основных элементов силового масляного трансформатора на основе измерения температуры поверхности его бака.

На кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого разработан и собран прибор, предназначенный для защиты силового масляного трансформатора от перегрева. Это микропроцессорный прибор, оснащенный жидкокристаллическим дисплеем и работающий совместно со специальным датчиком температуры, который устанавливается на поверхность бака силового трансформатора. Датчик крепится к поверхности трансформатора с помощью постоянного магнита и имеет два чувствительных элемента, один из которых предназначен для измерения температуры поверхности бака, а другой – для измерения температуры воздуха. Связь между датчиком и прибором реализуется сигнальным кабелем длиной до 50 м. Программное обеспечение прибора осуществляет расчет температур масла, обмотки и магнитопровода силового трансформатора в режиме реального времени (каждые 10 минут), выдавая их значения на дисплей. При достижении этими температурами критических значений прибор выдает звуковой и световой сигналы. Прибор может быть соединен с компьютером посредством интерфейса RS232 (COM-порт). Для установки прибора не требуется подключения к цепям тока и напряжения, а также временное отключение силового трансформатора от сети. Прибор находится на стадии опытного образца.

Технические характеристики прибора: напряжение питания 220 В ±10 %, 50 Гц; потребляемая мощность не более 3 Вт; точность измерения температур возду-

ха и поверхности бака трансформатора $\pm 0,2$ °С; точность расчета температур масла, обмотки и магнитопровода силового трансформатора ± 4 °С; температурный диапазон работы прибора от -20 °С до $+40$ °С; внутренняя Flash-память 128 К байт (220 суток записи измеренных температур при периоде дискретизации 10 мин).

Для проверки работы прибора и корректности алгоритмов его программного обеспечения были проведены экспериментальные исследования на автотрансформаторе АТДЦТН 63000/220/110/6 подстанции «Центролит-220». Прибор работал в течение 10 суток, записывая измеренные температуры в память. Затем данные были обработаны и получены расчетные временные диаграммы температур масла, обмоток и магнитопровода трансформатора. Расчетные значения температуры масла в соответствующие моменты времени сравнивались со значениями, которые два раза в сутки заносятся в оперативный журнал дежурными электриками. В результате выяснилось, что максимальная абсолютная погрешность расчета превысила 20 °С, что недопустимо.

Был проведен анализ работы алгоритма расчета и обнаружен ряд недостатков. После их устранения погрешность не превысила 4 °С.

Разработанный прибор может быть использован на трансформаторных подстанциях открытого или закрытого типа, оснащенных силовыми масляными трансформаторами мощностью от 100 кВА до 100000 кВА как в энергосистеме, так и в системе электроснабжения промышленных предприятий и гражданских зданий. Его применение позволит повысить надежность эксплуатации силовых трансформаторов.

УДК 621.315

МЕТОДИКА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЭКРАНУ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ

Д. И. Зализный, С. Н. Прохоренко

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

Цель исследований: теоретически изучить возможность передачи данных по экрану силового кабеля.

Современные силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена обязательно имеют электромагнитный экран, выполненный, как правило, из медных проволок. В случае его заземления с обеих сторон по нему протекает наведенный ток частотой 50 Гц. Авторами данной статьи предлагается использовать экран силового кабеля в качестве линии связи, подобно тому, как это делается в случае воздушных линий электропередачи. Функциональная схема передачи данных показана на рис. 1.

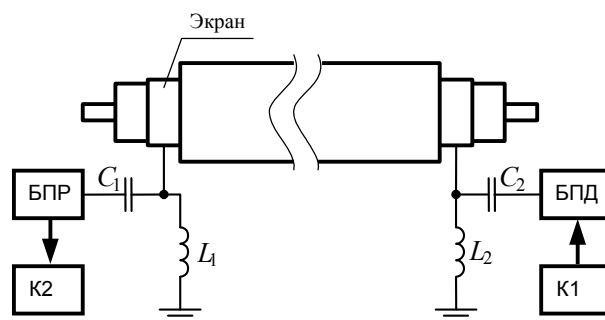


Рис. 1. Функциональная схема передачи данных по экрану силового кабеля

В разрыв между землей и экраном кабеля включены катушки индуктивности L_1 и L_2 , имеющие малое сопротивление на частоте 50 Гц и высокое сопротивление на частоте передаваемого сигнала. Сопротивление разделяющих конденсаторов C_1 и C_2 , наоборот, велико на частоте 50 Гц и мало на частоте передаваемого сигнала. Элементы заграждающего фильтра должны быть высоковольтными, т. е. их изоляция должна выдерживать фазное напряжение жилы кабеля.

Контроллер К1 через блок передачи данных БПД и заграждающий фильтр осуществляет выдачу пакетов в линию. На приемной стороне данные через блок приема БПР поступают в контроллер К2.

Передачу данных предлагается осуществлять пакетами синусоид. При этом наличие сигнала в линии будет соответствовать логической «1», а отсутствие сигнала – логическому «0». Очевидно, что способ передачи должен быть асинхронным, например таким, какой принят в интерфейсе RS232.

Была составлена схема замещения линии связи с учетом параметров заграждающих фильтров, в которой экран кабеля был представлен как линия с распределенными параметрами. Анализ зависимостей напряжения на приемной стороне от частоты передаваемого сигнала показал, что при выполнении условия согласования сопротивления нагрузки и волнового сопротивления линии, начиная с частоты 50 кГц, значение напряжения на нагрузке при возрастании частоты передаваемого сигнала меняется незначительно.

Предлагаемая методика может быть использована как в устройствах релейной защиты и автоматики, так и в средствах диагностики и АСКУЭ.

УДК 621.31

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ПО ПОЛОЖЕНИЮ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

А. В. Козлов, В. А. Савельев, А. А. Толстенков

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

Принято считать, что использование электростанций на солнечных батареях в средних широтах, где среднегодовое суммарное солнечное излучение, падающее на горизонтальную поверхность, составляет 800–1000 кВт · ч/м², не целесообразно. Такой уровень солнечной энергии, генерируемый на поверхности, а также невысокий коэффициент полезного действия (КПД) солнечных батарей и их относительная дороговизна делает подобные энергоустановки экономически не выгодными. Однако, опыт использования солнечных электростанций странами с таким же суммарным уровнем годового солнечного излучения (страны Евросоюза) положителен.

Наибольшей проблемой при проектировании и эксплуатации подобных энергетических установок является поддержание КПД солнечных батарей на максимально возможном уровне. Этого можно достичь, если постоянно поддерживать оптимальный угол падения света на приемник, используя солнечный треккер.

Солнечные трекеры в световых энергоустановках применяются достаточно часто, и они имеют большое количество вариантов конструкции – от сложных и мощных систем групповой ориентации фокусирующих зеркал башенных концентраторов до простейших портативных систем на исполнительных микромашинках. Однако при всем многообразии почти все подобные системы имеют в своем составе в качестве непосредственных датчиков угла падения солнечного света дополнительный блок фотоэлементов.

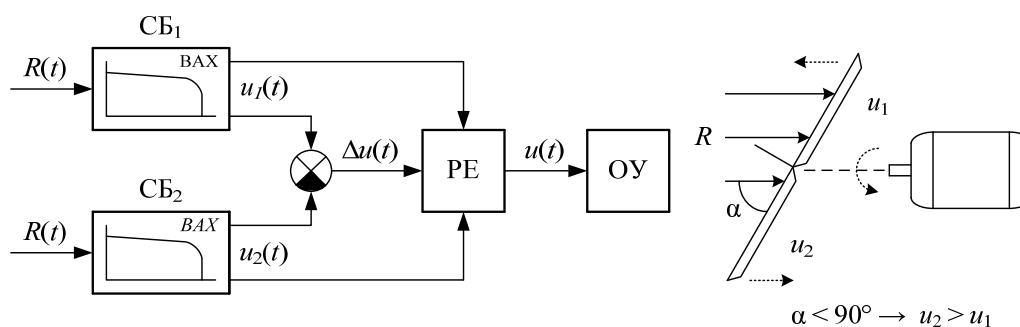


Рис. 1. Функциональная схема бездатчиковой системы позиционирования фотоэлектрических преобразователей по солнцу

При отказе от блоков-датчиков можно уменьшить общее количество используемых в конструкции элементов системы. При этом можно обеспечить возможность автоматического позиционирования по горизонтали (отслеживание солнца в течение дня при движении с востока на запад). По вертикали необходимо установить панели в заданной позиции под фиксированным углом (наиболее рациональным для местности, в которой будет использоваться установка), так как данный параметр меняется плавно в течение года от 15° летом до 75° зимой, и может подстраиваться вручную при сервисном обслуживании установки. В результате мы получим бездатчиковую САУ по положению источника света, где светопринимающими устройствами будут сами солнечные батареи (рис. 1). Реагировать такая система будет непосредственно на разность напряжений на пластинах солнечных батарей СБ1 и СБ2. В случае рассогласования этих напряжений САУ посредством управляющего органа УО и регулятора РЕ будет стремиться уменьшить эту разность, т. е. сориентировать пластины для максимального приема солнечной энергии.

УДК 621.396.961.06

ЯВЛЕНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ СИНТЕЗИРОВАННОЙ РАДИОГОЛОГРАММЫ

В. Н. Мизгайлов

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

Если рассматривать дифракционную структуру радиоголограммы как некоторый объект сложной геометрической формы, то не существует универсального рецепта уменьшения радиозаметности такого объекта. Физически это очевидно, так как в общем случае не решается задача дифракции. Однако существует возможность разработки конструктивного и достаточно универсального подхода к решению задачи уменьшения отражательной способности любого объекта. Этот подход базируется на идее синтеза радиоголограмм по заданному полю излучения (переизлучения) и в свойствах процесса восстановления «отображения» с радиоголограмм. Обратимся к традиционной схеме записи голограммы, из которой следует, что волны двух когерентных источников – предметная волна и опорная волна, распределение фазы последней известно, встречаются в некоторой области, где и происходит запись пространственной структуры волны или волнового фронта интерференционной картины от взаимодействия двух волн. Контраст этой интерференционной картины определяется распределением интенсивности предметной волны, а густота и форма интерфе-

ренционных полос – изменением фазы. Зарегистрировав интерференционную картину, получим голограмму (радиоголограмму), на которой будет зафиксирована не только амплитуда, но и фаза радиоволны. Опорный пучок как бы «останавливает» в пространстве радиоволну. Но этот же способ регистрации радиосигнала на каком-то носителе допускает и простое восстановление исходной волны. Для этого достаточно направить на зарегистрированную структуру волну, служившую опорной при записи. За радиоголограммой восстановится исходное предметное волновое поле. Обращаем внимание на термин «предметное волновое поле». При создании объекта с уменьшенной эффективной поверхностью рассеяния под предметным полем будет пониматься поле переизлучения объекта, когда он освещается радиолокатором. В таком поле сигнал в направлении радиолокатора должен или полностью отсутствовать или существенно уменьшен. Таким образом, радиоголограмма – это интерференционная картина, образованная двумя когерентными волнами – предметной и опорной. Сохранение воспроизводимой информации о фазе является уникальной особенностью голографического процесса. Если считать, что предметное поле – это поле, которое необходимо переизлучить объектом, когда он облучается запросным полем (сигналом), то опорное поле – это поле запроса. Следовательно, радиоголограмма должна равномерно перераспределить падающее на нее излучение с одного направления во все другие кроме \vec{r}^0 *запрос*. Предметное поле задается равномерно во всем пространстве вокруг объекта в 4π стерадиан, кроме одного направления, которое выбирается случайно, и с этого направления приходит сигнал опорного поля. Чтобы обеспечить запись такой радиоголограммы, необходимо одновременно со всей поверхности сферы облучать предметным и опорным полем объект, размещенный в центре сферы. Но так как любое направление запроса (облучения) объекта равновероятно и оно для некоторой ситуации, например, однопозиционная радиолокация, единственно, тогда рациональной схемой записи радиоголограммы будет равномерное одновременное облучение когерентным предметным полем объекта со всех направлений с поверхности сферы с радиусом R , что эквивалентно записи радиоголограммы без опорного сигнала в области размещения объекта. Полученная радиоголограмма, размещенная на объекте, будучи облучена запросным (опорным) сигналом с одного из направлений из дальней зоны поверхности сферы, восстановит волновой фронт предметного поля во всех направлениях с которых она облучалась при записи, кроме запросного (опорного).

УДК 621.314

ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ДАТЧИКАМИ ХОЛЛА

В. А. Карпов, А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов, В. А. Хананов, А. В. Карпов

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

В настоящее время датчики Холла (ДХ) широко используются в промышленной автоматике. Они являются неотъемлемой частью таких устройств, как тахометры, измерители линейных и угловых перемещений, датчики конечных положений [1], измерители напряженности магнитного поля и т. д. Однако при эксплуатации датчиков в расширенном температурном диапазоне в типовых схемах включения присутствует достаточно высокий температурный дрейф выходного сигнала, что в ряде случаев не позволяет использовать основные преимущества ДХ (миниатюрность, бес-

контактность, массовость, повторяемость характеристик, простота использования) в ряде приложений. Так, температурный дрейф широко известных датчиков Холла фирмы Honeywell [2], [3] находится на уровне 400...500 ppm/°C.

В статье представлены экспериментальные данные о температурном дрейфе широко используемых ДХ – SS496, SS495, SS453. Данные датчики представляют собой функционально законченную схему с аналоговым ратиометрическим выходом. Анализ исследуемых характеристик позволил сделать вывод о том, что температурный дрейф в более слабой степени зависит от напряжения питания ДХ, чем чувствительность (в 7...9 раз). Отмеченное обстоятельство позволяет значительно уменьшить температурный дрейф измерительного преобразователя путем осуществления двух измерений при разных напряжениях питания с последующим осреднением результата.

На основе вышеизложенного были предложены структурная и принципиальная схемы реализации подобного подхода. В результате экспериментального исследования отмеченной схемы с ДХ – SS 496, SS 496А при крайних напряжениях питания 5 и 12 В температурный дрейф по сравнению с типовой схемой включения был снижен в 8 раз, а чувствительность осталась на уровне паспортных данных при напряжении питания 5 В.

Предлагаемое техническое решение позволяет путем незначительного усложнения схемы обработки информации измерительного преобразователя для ДХ значительно расширить температурный диапазон использования отмеченных и им подобных датчиков и тем самым расширить их сферу применения для жестких условий эксплуатации.

Литература

1. Датчик перемещения для гидравлических систем : пат. на полезную модель № 6504 Респ. Беларусь : ВУ 6504 U 2010.08.30 / В. А. Карпов, А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов ; 16.12.2009 г.
2. Режим доступа: http://www.eltech.spb.ru/pdf/honeywell/honeywell_techinfo.
3. Режим доступа: <http://www.honeywell.com>.

УДК 621.314

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЫТОВЫХ ГАЗОВЫХ СЧЕТЧИКОВ

В. А. Карпов, А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов, В. А. Хананов, А. В. Карпов

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

Для бытового учета газа широко используются счетчики с мерным объемом и механическим счетным устройством, которые в широком температурном диапазоне имеют существенную погрешность измерения в зависимости от температуры, порядка 15–17 %. В связи с этим актуальна разработка систем, осуществляющих температурную коррекцию измерений. Как правило, для этой цели используются либо механические, либо электронные корректоры по температуре.

Корректор по температуре предназначен для измерения объема газа и приведения его к нормальным условиям по температуре (20 °C). Для этого каждый измеренный циклический объем счетчика приводится к нормальным условиям по температуре следующим образом:

$$V_{ц.кор} = V_{ц} \frac{T_n}{T_i},$$

где $V_{ц.кор}$ – объем, приведенный к нормальным условиям по температуре; $V_{ц}$ – циклический объем счетчика газа; T_n – температура нормальных условий 293,15 К; $T_{н}$ – текущая измеренная температура.

Механическим корректорам присущ ряд недостатков в виде сложности калибровки, повторяемости характеристик, сложности поверки и пр. Поэтому целесообразно использование электронных корректоров с автоматической адаптацией характеристики преобразования и ЖКИ индикацией. Это позволяет дополнительно решить проблему компенсации несовершенств механической части счетчика, что приводит к разбросу циклического объема в зависимости от расхода газа. Поэтому на этапе производства корректора для каждого счетчика рассчитываются в зависимости от расхода газа калибровочные коэффициенты, которые сохраняются в его энергонезависимой памяти. Это позволяет повысить точность измерения объема, обеспечив основную относительную погрешность измерений счетчика до 0,5 % в диапазоне от $0,1Q_{ном}$ до $Q_{макс}$ и 2 % в диапазоне от $Q_{мин}$ до $0,1Q_{ном}$.

В докладе на основе экспериментальных исследований показано, что функция объема измеряемого за один цикл от величины расхода, как правило, имеет максимум при величине расхода около $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ и плавно снижается к границам рабочего диапазона. В связи с чем предложено калибровочные коэффициенты рассчитывать методом трехточечной линейной аппроксимации. В этом случае объем одного оборота механической части счетчика (V_T) рассчитывается по формуле

$$V_T = \begin{cases} k_0 Q + b_0, & Q \leq 2; \\ k_1 Q + b_1, & Q > 2, \end{cases}$$

где k_0, k_1, b_0, b_1 – коэффициенты аппроксимации; Q – расход газа.

Таким образом, для проведения калибровки корректора необходимо провести поверку прибора на трех расходах – 10, 2, $0,06 \text{ м}^3/\text{ч}$ и на основе измеренных значений $Q_{10}, V_{10}, Q_2, V_2, Q_{0,06}, V_{0,06}$ вычислить коэффициенты k_0, k_1, b_0, b_1 .

Такой подход позволяет расширить температурный диапазон использования газовых счетчиков с мерным объемом и снизить требования к разбросу технологических параметров механической части при сохранении класса точности счетчика, что позволит снизить затраты на их производство.

УДК 621.317

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ

Ю. А. Козусев

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

Постоянная времени является основной частной динамической характеристикой различных датчиков и измерительных преобразователей с выходным сигналом постоянного тока [1].

Постоянная времени характеризует динамические свойства не только инерционных звеньев первого порядка, но и объектов с передаточной функцией более высокого порядка с одной доминирующей постоянной времени, например термоэлектрических, сильнодемпфированных механоэлектрических (тензометрия), акустических или гидравлических преобразователей.

Значение постоянной времени позволяет определить динамическую погрешность средства измерения, а также оптимально произвести аналоговую или цифровую коррекцию преобразователя.

Прямой метод измерения постоянной времени основан на подаче на исследуемый объект скачка напряжения и определении момента времени достижения реакции заданного опорного уровня $U_{оп}$. Погрешность измерения содержит аналоговую и дискретную составляющие.

В работе [2] проанализированы возможности минимизации погрешности измерения путем правильного выбора опорных уровней и обоснованы противоречивые требования к уровню $U_{оп}$.

Предлагается метод измерения постоянной времени, позволяющий разрешить эти противоречия, одновременно снизить аналоговую и дискретную составляющие погрешности и повысить помехозащищенность.

На вход объекта подается скачок напряжения, из выходного напряжения вычитается опорное напряжение, разность интегрируется. Результат измерения формируется в момент равенства нулю напряжения интегратора. Опорное напряжение выбирается из условия

$$U_{оп} = \frac{m-1}{m} U_{уст}, \quad m > 1,$$

где m – коэффициент преобразования; $U_{уст}$ – установившееся напряжение.

При измерениях в микросекундном диапазоне при $m > 10$ дискретная составляющая погрешности также может быть уменьшена более чем на порядок, так как преобразованию в цифровой код подвергается интервал $T = m \cdot T_x$.

Метод на основе интегрирования разности переходного процесса и опорного уровня позволяет по сравнению с прямым методом существенно снизить погрешность сравнения, влияние помех и дискретную составляющую погрешности измерения постоянной времени, причем нестабильность постоянной времени самого интегратора не вносит дополнительной погрешности.

Литература

1. Грановский, В. А. Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения / В. А. Грановский. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1984. – 224 с.
2. Error minimization in time-constant measurements. Rusek A. "IEEE Trans. Instrum. and Meas.", 1987, 36, N1, 29–31.

УДК 621.646.8:621.398

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ПРИЕМНЫХ МОДУЛЕЙ ВНУТРИТРУБНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА

Э. М. Виноградов, Ю. В. Крышнев, А. В. Сахарук, М. В. Столбов

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

В настоящее время на кафедре «Промышленная электроника» УО «ГГТУ им. П. О. Сухого» ведется разработка системы управления и контроля состояния внутритрубного герметизатора для ОАО «Гомельтранснефть Дружба» [1]. Для передачи сигналов используется радиоканал, по которому передаются пакеты импульсов

длительностью 0,36 с, заполненные синусоидальным напряжением частоты 22 Гц. Эти параметры были выбраны для совместимости со штатной системой CD42 обнаружения внутритрубных снарядов, применяемой на нефтепроводах.

Основной проблемой при использовании радиоканала для связи герметизатора с наземным устройством (пультом управления) является сильное затухание сигнала при прохождении через стенки трубопровода, почву и воздух. Сигналы, снимаемые с приемной антенны, имеют малую амплитуду (порядка единиц милливольт). Кроме того, они содержат помехи, из которых наибольшую величину имеют помехи частоты 50 Гц и кратные ей. Фактически уровень полезного сигнала в несколько раз меньше уровня помех. Для выделения сигнала частоты 22 Гц и его усиления в разработанной системе используется специальный фильтр. Был выбран активный фильтр Баттерворта 10-го порядка, который обеспечивает высокую частотную избирательность. По расчетам отношение «сигнал (22 Гц) / шум (50 Гц)» на выходе фильтра составляет не менее 3000 (около 70 дБ). Для реализации фильтра использовалось последовательное соединение пяти низкочастотных звеньев Рауха. Принципиальная схема одного звена приведена на рис. 1, а. На рис. 2, а показана амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра (сплошная линия). Фильтр пропускает очень низкие частоты, что обеспечивает быстрое затухание переходных процессов при передаче пачек импульсов. На рис. 2, б приведена временная диаграмма напряжения на выходе фильтра (сплошная линия) при приеме пачки длительности 0,36 с.

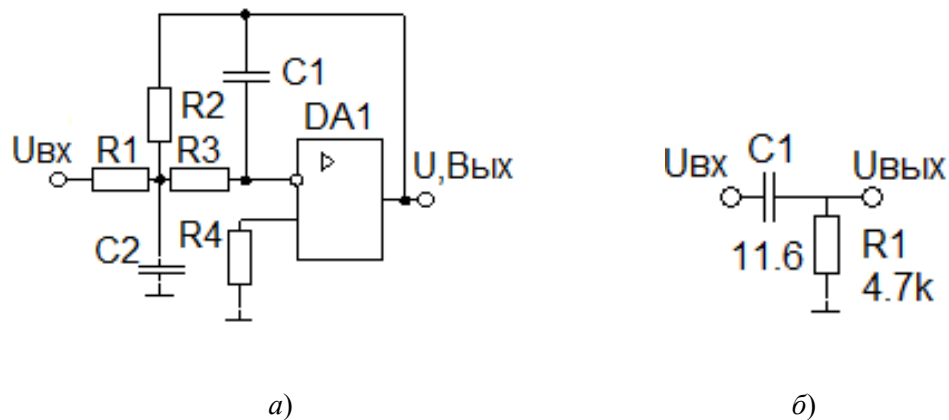


Рис. 1. Принципиальные схемы элементов фильтра:
а – звено Рауха; б – промежуточная CR-цепочка

Однако в ходе полевых испытаний на действующем трубопроводе была выявлена высокая чувствительность разработанной системы радиуправления к низкочастотным помехам порядка нескольких герц. Эти помехи возникают при работе штатного оборудования, используемого на трубопроводе (электродвигатели, электроинструмент и т. д.). Для устранения влияния низкочастотных составляющих сигнала фильтр был модернизирован. С этой целью для связи между отдельными каскадами фильтра были включены CR-цепочки, показанные на рис. 1, б. Введение этих цепочек уменьшило коэффициент передачи на низких частотах, но практически не изменило его в рабочем интервале 10...25 Гц. На рис. 2, а приведена АЧХ модернизированного фильтра (пунктирная линия). На рис. 2, б пунктирной линией приведена временная диаграмма импульсов на выходе фильтра при приеме пачки. Видно, что

модернизированный вариант фильтра не вызывает значительного увеличения времени переходного процесса. Дополнительное преимущество от введения цепочек – уменьшение постоянной составляющей напряжения на выходе фильтра, что также повышает устойчивость работы. Испытания в испытательной камере НПС «Бобовичи» показали эффективность модернизации фильтра системы управления и контроля состояния герметизатора.

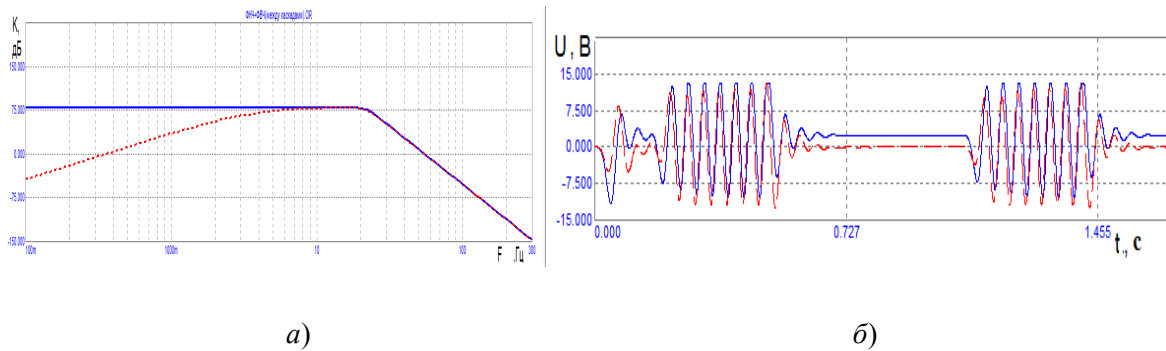


Рис. 2. Сравнение характеристик исходного и модернизированного фильтра:

а – амплитудно-частотные характеристики;
б – временные диаграммы сигналов на выходе

Литература

1. Система управления и контроля состояния внутритрубного герметизатора / Э. М. Виноградов [и др.] // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – С. 126–127.

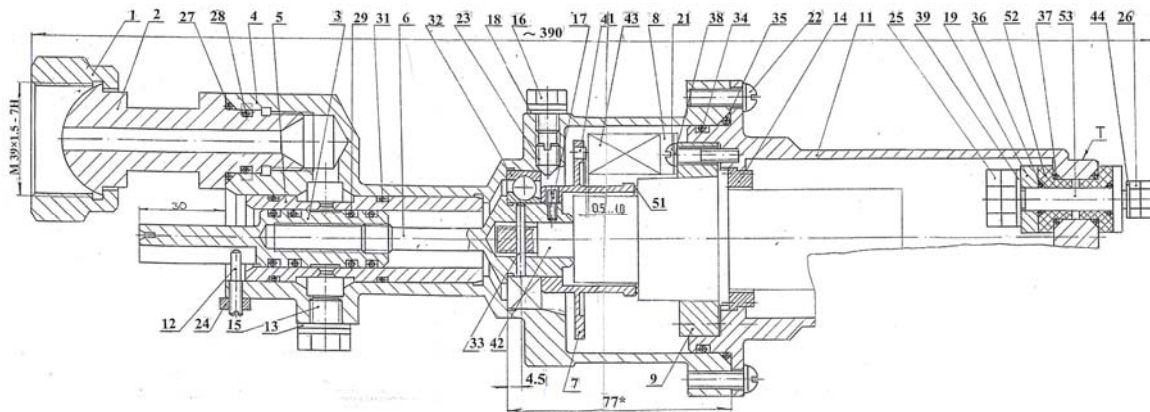
УДК 621.646.8:621.398

КЛАПАН З ЭЛЕКТРАПРЫВАДАМ ДЛЯ КІРУЕМАГА ЎНУТРЫТРУБНАГА ГЕРМЕТИЗАТАРА

У. Д. Якавец, Ю. В. Крышнеў, С. М. Кухарэнка, М. В. Сталбоў, А. У. Сахарук

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

Унутрытрубныя герметызатары выкарыстоўваюцца для правядзення рамонтных работ на нафтаправодах. Прынцып дзеяння герметызатара складаецца ў перамяшчэнні яго рухомай сістэмы пад дзеяннем ціску нафты да механічнай фіксацыі ўсяго герметызатара за кошт трэння ссунутых абшэвак аб унутраныя сценкі трубаправода. Ужыванне некіруемых герметызатараў, якія працуюць за кошт стварэння залішняга ціску ў трубаправодзе, з'яўляецца фактарам рызыкі з пункту гледжання цэласнасці канструкцыі трубаправода і звязана з тэхналагічнымі цяжкасцямі ў кіраванні рэжымам помпавых агрэгатаў. Для ліквідацыі названых недахопаў у канструкцыю кіруемага ўнутрытрубнага герметызатара (КУГ) ўнесены электрамеханічны модуль ў выглядзе кіруемага ўпускнога клапана на аснове матара-рэдуктара (клапан з электрапрывадам); кіраванне адмыканнем і замыканнем клапана ажыццяўляецца аператарам шляхам тэлекіравання ад наземнай прылады [1].



Мал. 1. Клапан з электрапрывадам: 1 – гайка накідная; 2 – штуцэр; 3 – поршань; 4 – ўтулка; 6 – вось; 7 – фланец; 8 – вугольник; 9 – фланец; 11 – фланец; 12 – вось; 13 – пракладка; 15, 16 – пробкі; 17 – вiнт; 21 – вiнт крапежны; 23 – вiнт стопарны; 32 – падшыпнік; 33 – штыфт; 41 – магніт пастаянны; 43 – датчык Холла; 51 – электрарухавік з планетарным механізмам

Клапан з электрапрывадам (КЭП) (мал. 1) прызначаны для аўтаматычнага адкрыцця і закрыцця канала падвода рабочага асяроддзя (нафты) пад ціскам у гідрацыліндр механічных прылад пры атрыманні адпаведнага сігналу.

У зыходным становішчы КЭП зачынены. Для адкрыцця клапана падаецца сігнал на кіруючы блок, які падае адпаведнае напружанне і ток на клеммы электрарухавіка. Вярчальны рух якара электрарухавіка праз планетарны механізм пераўтвараецца ў паступальнае перамяшчэнне поршня за кошт рэзьбавага злучэння вост і поршня. Для ліквідацыі восевага намагання ад поршня на якар планетарнага механізму і электрарухавік у прыладзе ўсталяваны радыяльны шарыкападшыпнік, які стопарыцца трыма вiнтамі з герметызаваным уводам. У якасці датчыка абаротаў якара электрарухавіка выкарыстаная схема на аснове датчыка Хола з кампаратарам. Пры гэтым на фланцы, які верціцца, механічна замацаваны пастаянны магніт.

Літаратура

1. Электрамеханічны модуль кіруемага герметызатара для магістральных нафтаправодаў / М. В. Сталбоў [і інш.] // Надзейнасць і безапаснасць магістральнага трубопроводнага транспарта : сб. науч. тр. / Полоц. гос. ун-т ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. К. Липского. – Новополоцк, 2011. – С. 144–151.

УДК 621.88.084

СИНТЕЗ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

С. Н. Кухаренко, В. М. Лукашов

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

В настоящее время существует значительное количество устройств преобразовательной техники и силовой электроники, работа которых не всегда является надежной и энергоэффективной. Исследования переходных процессов, протекающих в

звеньях этих устройств, и применение разработанной методики позволят определить параметры звеньев и провести дальнейший синтез корректирующих цепей. Целью исследований является улучшение качества работы данных устройств.

Определение параметров схем замещения производится для элементов устройств, работающих в ключевом режиме (транзисторы, диоды). Расчет параметров компонентов производится для схемы замещения, имеющей вид последовательного RLC-контура. Метод заключается в расчете параметров двух колебательных процессов: исходного и колебательного процесса, полученного после параллельного включения исследуемому элементу дополнительной емкости.

После вычисления периода, амплитуды, частоты, фазы, затухания колебательного процесса определяются параметры схемы замещения рассматриваемого звена. Корректирующая цепочка представляет собой включаемое параллельно исследуемому элементу RC-звено.

Для определения значений элементов демпфирующей цепи вводится критерий, характеризующий отношение энергетических потерь в исходном процессе и в скорректированном. Этот критерий представляет собой отношение средневыпрямленного напряжения исходного переходного процесса к средневыпрямленному напряжению скорректированного процесса. Авторами разработан программный фрагмент, который исходя из учета данного критерия, перебирает варианты корректировки процесса и выбирает тот, где значение данного критерия максимально.

Для удобства расчетов и простоты использования была написана программа для определения параметров звеньев по характеру переходных процессов, происходящих в них.

Полученные результаты исследований:

- улучшенная методика поиска параметров [1] позволяет производить идентификацию, как из файла отсчетов, так и из координат максимумов, введенных вручную;
- разработан алгоритм поиска наилучшего варианта корректировки переходного процесса и синтеза демпфирующей цепи;
- для удобства использования методики написана программа идентификации параметров.

Л и т е р а т у р а

1. Лукашов, В. М. Идентификация параметров колебательного звена и последующий синтез элементов демпфирующей цепи / В. М. Лукашов, С. Н. Кухаренко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы X Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, 2010. – С. 217–220.

УДК 621.88.084

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЫ ПЛ-71

Л. А. Захаренко, В. М. Лукашов, И. Н. Головки

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

ПУ «Нефтебурсервис» была поставлена задача автоматизации литьевой машины ПЛ-71. Литьевая машина ПЛ-71 предназначена для наварки скребков-центраторов на насосные штанги. Мероприятия по автоматизации проводились с це-

люю возможности контроля соблюдения технологического процесса, обеспечения более удобного управления литьевой машиной ПЛ-71.

Перечень проведенных мероприятий:

- 1) замена гидрораспределителей с ручным управлением на гидрораспределители с электромагнитным управлением;
- 2) установка датчика температуры на пресс-форму и управление подачей охлаждающей жидкости на пресс-форму;
- 3) установка датчика перемещения поршня верхнего гидроцилиндра;
- 4) перенос на программируемый логический контроллер (ПЛК фирмы Mitsubishi серии FX) функций задания и регулирования температур верхней и нижней зоны материального цилиндра, температуры пресс-формы;
- 5) реализация функции точного задания времен выдержки на впрыскивание расплавленного полимера в пресс-форму и на отверждение полимера в соответствии с техпроцессом;
- 6) обеспечение двух режимов работы литьевой машины: ручной и автоматический;
- 7) установка блока регистрации температурно-временных параметров каждого технологического цикла и предоставление программы просмотра регистрируемых данных на ПК.

После проведения всех мероприятий по автоматизации литейщик при выполнении операции по наварке скребка-центратора изначально задает на сенсорной панели управления все необходимые параметры, затем, переключив тумблер на пульте в положение «Авто», выполняет технологический цикл. В автоматическом режиме литьевая машина поддерживает заданные температуры материального цилиндра и пресс-формы, выдерживает время под давлением и время охлаждения, последовательно выполняет операции процесса наварки скребка-центратора на насосную штангу. В результате реализации поставленной задачи была разработана и внедрена система автоматизации литьевой машины ПЛ-71. Данная модернизация позволила фиксировать временные параметры технологического цикла (ранее эти параметры не были фиксированы, что приводило к неточности и несоблюдению технологического процесса). Все необходимые параметры регистрируются в энергонезависимой памяти, что дисциплинирует работу литейщика и позволяет при необходимости установить причину выпуска брака. Наличие ручного и автоматического режима, возможность задания параметров на сенсорной панели управления обеспечивают дополнительные удобства в работе литейщика.

УДК 621.317

КОЛЬЦЕВОЙ ФЕРРОЗОНД ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Д. П. Михалевич, Ю. А. Козусев, Э. М. Виноградов

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

Современные датчики для бесконтактного измерения тока представляют собой магнитоэлектронные устройства, принцип действия которых основан на измерении магнитной индукции, создаваемой проходящим током и регистрируемой преобразова-

телем магнитного поля (ПМП). Наибольшее распространение для указанных целей получили три типа ПМП: феррозонды и магниторезисторы – для регистрации малых токов (до 0,5 А) и элементы Холла – для измерения больших токов (до 1000 А и более) [1].

Феррозонд – устройство, чувствительное к внешним постоянным и медленно меняющимся магнитным полям, содержащее ферромагнитные сердечники и обмотки, распределенные по их длине. Происходящие в феррозонде процессы связаны с существованием внешнего измеряемого поля и некоторого вспомогательного поля, образуемого за счет тока в одной из обмоток. Взаимодействие этих полей в объеме сердечников приводит к появлению в измерительной обмотке ЭДС, по величине которой и судят о напряженности внешнего поля и создающего это поле измеряемого тока [2].

Феррозонды отличаются друг от друга по режиму работы, по способу наложения вспомогательного поля, а также по конструктивному исполнению.

Конструкция сердечников феррозондов зависит от свойств контролируемого поля. Силовые линии прямого тока имеют форму кольца, следовательно, оптимально использовать кольцевые феррозонды (рис. 1), которые, кроме того, наименее подвержены влиянию магнитного поля Земли и других однородных полей.

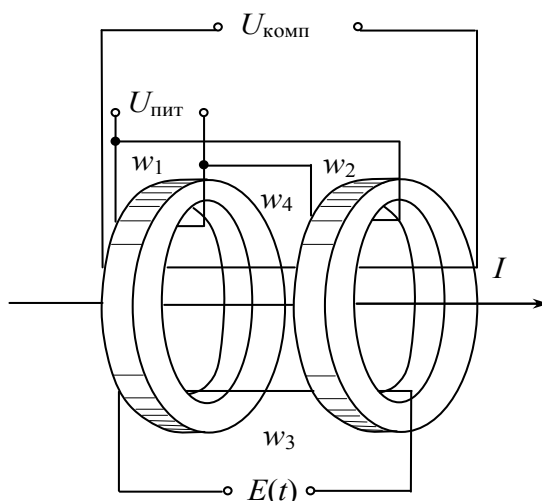


Рис. 1. Кольцевой феррозонд

В результате исследования была выбрана схема феррозонда с продольным возбуждением (рис. 1) [3]. Феррозонд выполнен на двух кольцевых сердечниках из феррита. Питающее напряжение подключено к первичным обмоткам ($w_1 = w_2$) и создает магнитные потоки. Компенсационная обмотка (w_4) предназначена для компенсации магнитного поля измеряемого тока. Четные гармоники наведенной в измерительной обмотке ЭДС суммируются, формируя сигнал $E(t)$, пропорциональный измеряемому току.

Литература

1. Бараночников, М. Л. Микромагнитоэлектроника. Т. 1 / М. Л. Бараночников. – М. : ДМК Пресс, 2001. – 544 с.
2. Афанасьев, Ю. В. Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. – Л. : Энергия, 1969. – 167 с.
3. Разин, Г. И. Бесконтактное измерение электрических токов / Г. И. Разин. – М. : Атомиздат, 1974. – 156 с.

УДК 621.396.621.59

ОРГАНИЗАЦИЯ КАНАЛА СВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ДЛЯ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ С ВНУТРИТРУБНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

В. О. Старостенко, В. Н. Гарбуз, Е. А. Храбров

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

В системах связи основными видами разделения сигналов являются частотное (FDMA – Frequency Division Multiple Access), временное (TDMA – Time Division Multiple Access) и кодовое (CDMA – Code Division Multiple Access).

Целью данной работы является организация канала связи для обмена информацией с внутритрубными устройствами с кодовым разделением сигналов. Данный тип разделения сигналов имеет ряд преимуществ перед остальными: высокую помехоустойчивость, возможность передачи нескольких сигналов в одном частотном диапазоне одновременно.

Для реализации обмена информацией с внутритрубными устройствами был выбран ансамбль из 10 псевдослучайных последовательностей различной длины с наилучшими взаимно-корреляционными свойствами. Длина отобранных последовательностей 25, 26 или 31 символов определяет время передачи одного значения при несущей частоте 22 Гц в пределах 1,136...1,409 с. Необходимость применения крайне низкой несущей частоты обусловлена высоким затуханием сигнала при прохождении стальной стенки трубы, если частота превышает значение 50 Гц.

Таким образом, для передачи какого-либо значения от 1 до 10 внутритрубному устройству, на передающей стороне формируется и передается соответствующая псевдослучайная последовательность. На приемной части внутритрубного устройства (рис. 1) имеется 10 корреляторов, каждый из которых согласован только с одной последовательностью из выбранного ансамбля. При превышении сигналом отклика одного из корреляторов порога срабатывания решающее устройство выдает сигнал на выполнение соответствующей команды.

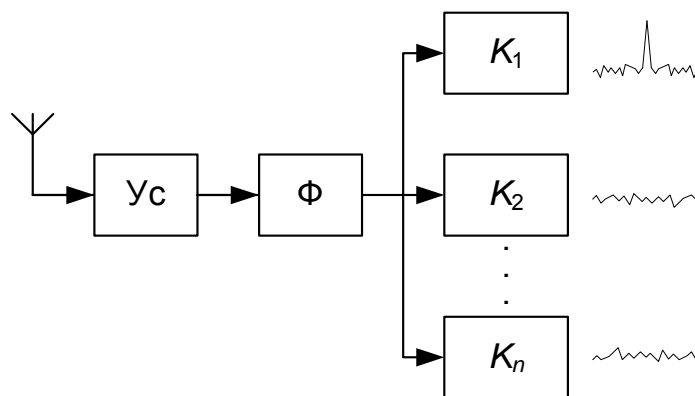


Рис. 1. Функциональная схема приемной части внутритрубного устройства:
Ус – усилитель; Ф – фильтр низких частот; $K_1, K_2 \dots K_n$ – корреляторы

Так как в полученном ансамбле имеются не только двухуровневые последовательности, а также многоуровневые (3 и 5 уровней), то вероятность ложного срабатывания на несколько порядков ниже, если использовать посимвольный прием.

В результате данной работы был получен ансамбль псевдослучайных последовательностей с наилучшими взаимно-корреляционными функциями по минимаксному критерию, а также разработка протокола обмена информацией с внутритрубными устройствами.

Л и т е р а т у р а

1. Ипатов, В. П. Периодические дискретные сигналы с оптимальными корреляционными свойствами / В. П. Ипатов. – М. : Радио и связь, 1992. – 152 с.
2. Основы цифровой обработки сигналов / А. И. Солонина [и др.]. – СПб. : БХВ–Петербург, 2005. – 768 с.

УДК 621.396.62

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ АППАРАТНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ КОРРЕЛЯЦИОННОГО СПОСОБА ПРИЕМА ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

В. Н. Гарбуз, В. О. Старостенко

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

При реализации систем связи с использованием псевдослучайных последовательностей [1] разработчику приходится сталкиваться со сложностями аппаратной реализации корреляционного приемника. В условиях сильных шумов в канале связи для достижения высокой помехоустойчивости необходимо увеличивать базу сигнала – для псевдослучайных последовательностей это означает увеличение разрядности и усложнение приемной аппаратуры. Это обстоятельство препятствует применению корреляционных методов приема, если приемник ограничен в виде, габаритах, потреблении энергии от источников питания [2]. Поэтому исследование способов уменьшения вычислительной сложности корреляционного приема представляется актуальной задачей.

Для случая приема псевдослучайного сигнала с неизвестной задержкой известны два способа приема. Для повышения вероятности обнаружения псевдослучайного сигнала отсчеты входного сигнала необходимо брать несколько раз за период следования одного символа. При первом способе приема (рис. 1, а) в структуру приемника включаются N корреляторов, и отсчеты входного сигнала принимаются через временной промежуток Δt ($\Delta t = T/N$, где T – период следования одного символа псевдослучайного сигнала). Схема приемника организована так, что первый отсчет поступает на вход первого коррелятора, второй отсчет – на вход второго коррелятора и т. д. После того, как отсчет сигнала с входа подается на вход последнего коррелятора, следующий отсчет подается на вход первого коррелятора. Таким образом, на вход каждого из N корреляторов подается отсчет, соответствующий каждому переданному символу псевдослучайного сигнала. Второй способ (рис. 1, б) заключается в том, что отсчеты сигнала со входа приемника принимаются через временной промежуток Δt и подаются на вход одного коррелятора.

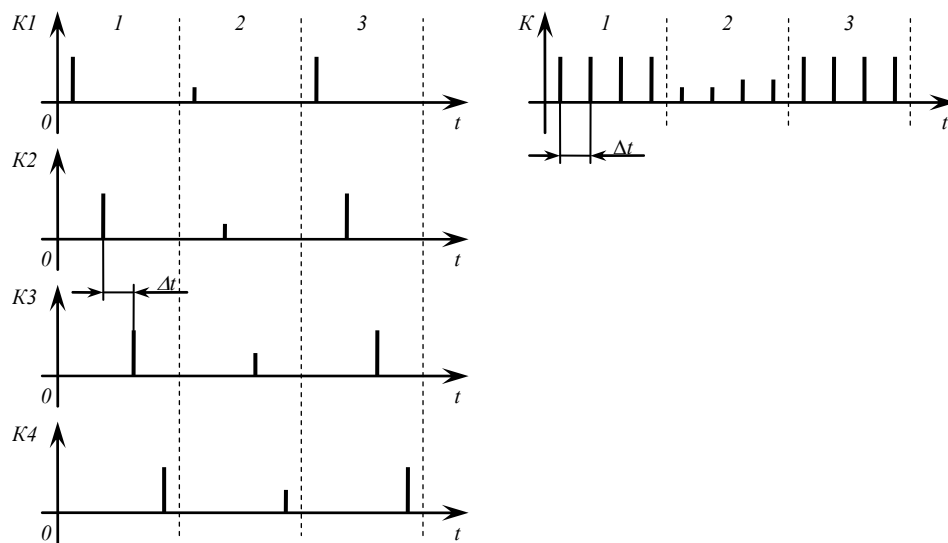


Рис. 1. Способы корреляционного приема символов с неизвестной задержкой

В исследовании показано, что применение второго способа приема псевдослучайного сигнала позволяет повысить вероятность неприема и снизить вероятность ложного срабатывания системы. Однако вычислительные затраты на реализацию такого метода оказываются намного больше, чем на реализацию первого метода. К тому же первый метод плохо поддается распараллеливанию вычислительных операций. Первый же метод обладает меньшей вычислительной сложностью, вычислительные операции при обработке могут быть распараллелены вплоть до выполнения на отдельных функциональных узлах приемника. Также обосновывается, что при реализации приемника с использованием ПЛИС можно реализовать первый способ приема для режима сниженного энергопотребления устройства (ждущий режим), а при активном обмене сообщениями переконфигурировать ПЛИС для приема по второму способу.

Л и т е р а т у р а

1. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – С. 6–8.
2. Теория и применение псевдослучайных сигналов / А. И. Алексеев [и др.]. – М. : Наука, 1969. – С. 187.

УДК 621.398:628.971

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЕ – ЧАСТОТА. ВЛИЯНИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ РАСЧЕТА ПНЧ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ КОМПАРАТОРА

П. П. Изотов

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

В [1, с. 121] описана схема преобразователя напряжение – частота (ПНЧ), принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Также в [2] приведена уточненная методика расчета ПНЧ.

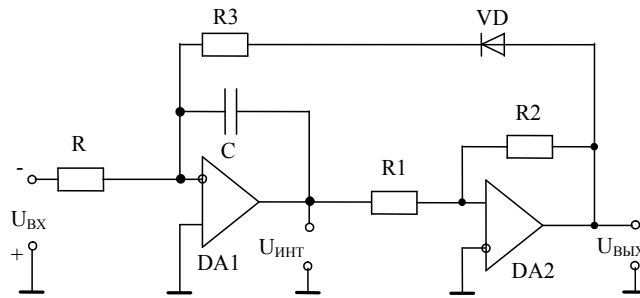


Рис. 1

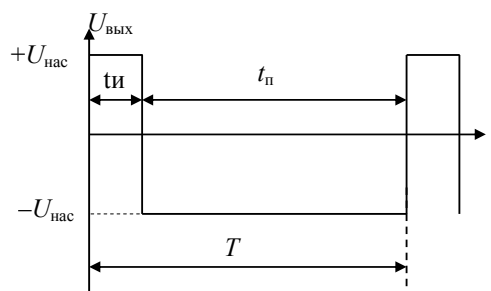


Рис. 2

В процессе дальнейшего исследования ПНЧ выявлено, что время переключения компаратора DA2 уменьшает частоту выходного сигнала ПНЧ по сравнению с расчетным значением, полученным с учетом [2]. При этом было замечено, что чем меньше отношение $\frac{t_{и}}{t_{п}}$ (где $t_{и}$ – ширина импульса, а $t_{п}$ – ширины паузы выходного сигнала (рис. 2)), тем больше отклонение от расчетного значения частоты выходного сигнала ПНЧ.

В связи с этим необходимо было определить, как влияет время переключения компаратора DA2 на частоту выходного сигнала ПНЧ и почему уменьшение отношения $\frac{t_{и}}{t_{п}}$ увеличивает это влияние.

Период выходного сигнала ПНЧ с реальным компаратором DA2 (время переключения $\Delta t \neq 0$) можно представить как $T_p = T + \Delta T$, где T – период выходного сигнала ПНЧ с идеальным компаратором DA2, полученным с учетом [2]; ΔT – погрешность расчета, вносимая реальным компаратором DA2 при переключении.

Показано, что если реальный компаратор DA2 представить как последовательно соединенные идеальный компаратор и элемент с временем задержки Δt , то погрешность расчета имеет вид:

$$\Delta T \approx \left(\frac{t_{и}}{t_{п}} + 2 + \frac{1}{\frac{t_{и}}{t_{п}}} \right) \Delta t.$$

Из выражения видно, что при ширине импульса во много раз меньше ширины паузы $\frac{t_{и}}{t_{п}} \rightarrow 0$ выходного сигнала ПНЧ, погрешность расчета растет $\Delta T \rightarrow \infty$. Если выражение исследовать на экстремум, то можно увидеть, что при ширине импульса, равной ширине паузы $\frac{t_{и}}{t_{п}} = 1$ погрешность расчета минимальна $\Delta T = 4\Delta t$.

Областью применения выражения является линейный режим работы операционного усилителя DA1. При входе DA1 в нелинейный режим работы выражением пользоваться не рекомендуется.

Литература

1. Чубриков, Л. Г. Основы промышленной электроники / Л. Г. Чубриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2003. – 255 с.
2. Изотов, П. П. Уточнение метода расчета преобразователя напряжение частота / П. П. Изотов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 2. – С. 52–60.

УДК 621.397.622

ПРИЕМ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Н. И. Вяхирев, В. В. Щуплов

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

В настоящее время осуществляется активный переход от аналогового телевидения к цифровому. В Беларуси введены ограничения на время существования аналогового телевидения до 2015 г.

При переходе на цифровое телевидение достигается высокое качество и помехоустойчивость цифрового сигнала, возможность увеличения числа программ в одном частотном канале, снижение энергопотребления передающего устройства.

В соответствии с программой перехода на цифровое телевидение организовано наземное эфирное вещание цифрового телевидения в областных городах. В качестве примера в табл. 1 приведен перечень используемых каналов ДМВ и характеристики телевизионных передающих станций по Гомельской области.

Пункт	Номер канала	Частота, МГц	Мощность, кВт	Радиус обслуж., км	Поляризация	Цифровой пакет
Брагин	43	650	2	56	Горизонт.	Б1, Б2, ОНТ, СТВ, Мир, НТВ-Бел, РТР-Бел
Гомель	51	714	2	44	Горизонт.	Б1, Б2, ОНТ, СТВ, Мир, НТВ-Бел, РТР-Бел
Жлобин	57	762	2	47	Горизонт.	Б1, Б2, ОНТ, СТВ, Мир, НТВ-Бел, РТР-Бел

Уровень сигнала уверенного приема аналогового телевидения 48–54 дБ/мкВ. Приемники цифрового телевидения начинают уверенно принимать сигнал при 25–30 дБ/мкВ. Разница уровней, как минимум, 20 децибел (100 раз).

Тем не менее практика показала, что все преимущества цифрового сигнала реализуются только в радиусе 20–30 км от передатчика (при мощности передатчика

порядка 10 кВт и усилении в 20 дБ), именно поэтому наиболее выгодная конфигурация сети DVB-T — одночастотная синхронная сеть из передатчиков небольшой мощности порядка 1–2 кВт.

При организации индивидуального приема рекомендуется применять телевизионную антенну дециметрового диапазона. Однако особенность передачи нескольких программ цифрового ТВ в одном телевизионном канале аналогового ТВ приводит к конструкциям антенн для приемников цифрового ТВ.

Если антенна аналогового ТВ должна работать в широком частотном диапазоне, чтобы обеспечить прием на одну антенну нескольких каналов, то антенна для цифрового ТВ работает в полосе частот одного телевизионного канала для данного района вещания. Это дает возможность уменьшить уровень помех на входе приемника за счет уменьшения рабочей полосы антенны и обеспечить высокий коэффициент усиления антенны с хорошей направленностью.

Такие антенны позволяют вести уверенный прием цифрового ТВ даже в отсутствии прямой видимости телевышки (по отраженному сигналу от высотных зданий), что с антеннами, разработанными для аналогового ТВ, часто проблематично.

УДК 621.396.67

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЩЕЛЕВЫХ АНТЕНН

А. А. Кутень, Н. И. Вяхирев

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

Для моделирования антенн и СВЧ устройств многие годы применяются разнообразные численные методы. С развитием вычислительной техники численные методы легли в основу программного обеспечения, предназначенного для проектирования антенн и СВЧ устройств. На современном этапе развития антенной техники и техники СВЧ уже невозможно обходиться без электромагнитных симуляторов, позволяющих существенно сократить дорогостоящий процесс разработки.

Целью данной работы является создание трехмерной графической модели щелевой антенны, решение электродинамической задачи и визуализация результатов решения.

Программа HFSS моделирует сложные трехмерные конфигурации произвольной формы, а также дает инженерам-проектировщикам широкие возможности расчета на электродинамическом уровне. Анализ сводится к черчению структуры, точному определению свойств материала, идентификации портов и введению характеристик поверхностей. В постпроцессоре можно построить характеристики портов и S-параметры, распределения полей в любом интересующем проектировщика сечении. Программа позволяет визуализировать результаты электродинамического анализа.

Основу решения трехмерных и двумерных задач электродинамики в HFSS составляет метод конечных элементов (Finite Element Method). Смысл метода состоит в том, что пространство разбивается на простейшие элементы, имеющие форму тетраэдров. Размер тетраэдра должен быть достаточно мал для того, чтобы поле в его пределах можно было описать простой функцией или набором функций с неизвестными коэффициентами. Эти коэффициенты находятся с помощью уравнений Максвелла и граничных условий.

В результате данной работы была построена расчетная модель электрических характеристик линейной волноводно-щелевой решетки с помощью вычислительной

программы HFSS. В качестве канализирующей системы такой антенны используется прямоугольный волновод сечением 23 на 10 мм с волной типа H_{10} . Излучателями решетки являются щели (8 штук), прорезанные в узкой стенке волновода. Расстояние между центрами щелей равно 18 мм. Угол наклона щели 15° . С одного конца эта антенна возбуждается от генератора, а к другому концу присоединяется согласующая нагрузка для обеспечения работы антенны в режиме бегущей волны. В данной работе возбуждение было реализовано заданием волноводного порта, а режим бегущей волны обеспечен путем задания свойств материала нагрузки. Были получены диаграммы направленности волноводно-щелевой решетки в полярной и декартовой системах координат.

Литература

1. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток : учеб. пособие для вузов / В. С. Филиппов [и др.] ; под ред. Д. И. Воскресенского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Радио и связь, 1994. – 592 с. : ил.
2. Банков, С. Е. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С. Е. Банков, А. А. Курушин. – М. : ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 256 с.

СЕКЦИЯ Д. ВИБРОДИАГНОСТИКА, ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

УДК 631.363.25

ВИБРОДИАГНОСТИКА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ОРИГИНАЛЬНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Б. С. Каменецкий, А. Н. Щепин, Г. Н. Лимаренко

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

При проведении вибродиагностики достигаются следующие результаты: распознавание состояния эксплуатируемого агрегата и выявление причин и условий, вызывающих неисправности, которые следует устранить.

Для исследований измельчителя создан экспериментальный стенд, представляющий собой программно-аппаратный комплекс, реализованный на базе техники Siemens и технологий National Instruments, включающий в себя: измельчитель, клиноременную передачу, соединяющую его с асинхронным электродвигателем Siemens мощностью 5,5 кВт (максимальная частота вращения 1500 об/мин); пульт управления; компьютер с управляющим ПО на базе LabVIEW и Simatic Net; шкаф управления.

Параметры стенда, значимые для виброустойчивости, следующие: тип двигателя 1LA71648A810; подшипники в опорах вал-шестерни – 80206, в опорах колеса – 80301; номинальная мощность двигателя $P_H = 5,5$ кВт; передаточное число ременной передачи $U_{\text{рем}} = 1$; передаточное отношение рабочего органа измельчителя $U_{\text{ред}} = 2$; число зубьев шестерни $Z_1 = 4$; число зубьев колеса $Z_2 = 8$.

В ходе экспериментального исследования использован виброанализатор «Корсар+».

Вибродиагностика измельчителя проводилась на холостом ходу на частоте 500 об/мин и под нагрузкой при измельчении зерна пшеницы на частотах вращения 300, 500 и 750 об/мин.

Измерения параметров вибрации производились в местах расположения подшипниковых опор, в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, в четырех контрольных точках: 1 – задняя опора вал шестерни (без выходного конца вала); 2 – передняя опора вал-шестерни (с выходным концом вала); 3 – задняя опора колеса; 4 – передняя опора колеса.

Полученный вибрационный сигнал интерпретируется программным обеспечением «Атлант», входящим в комплект поставки виброанализатора «Корсар+», в амплитудно-частотную характеристику (АЧХ).

Для каждого измерения вычислены коэффициенты близости к резонансу, которые показывают попадание возмущающей частоты в полосу резонанса. По рассчитанным коэффициентам близости к резонансу можно оценить динамическое качество элементов конструкции измельчителя.

В виду стохастичности процессов, происходящих при работе машин, анализ результатов вибродиагностики сводится к выявлению коэффициентов близости к резонансу частот, имеющих недопустимые и плохие значения на определенных ре-

жимах работы машины, и расчет их количества в общем количестве замеров при определенной частоте вращения электродвигателя.

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Подшипниковые опоры вал-шестерни и сама шестерня вносят значительные возмущения в упругую систему – необходимо изменить конструкцию опор и вал-шестерни.

2. Внести изменения в конструкцию измельчителя – усилить подшипники вал-шестерни, изменить передаточное отношение зубчатой передачи измельчителя и ременной передачи привода, провести подбор соотношения массы и моментов инерции шкивов.

УДК 621.311:658.26

МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е. Н. Иншеков, И. В. Калинин

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Для повышения конкурентоспособности и снижения себестоимости продукции необходимо уменьшить финансовые затраты на ее составляющие. Одной из таких составляющих являются энергетические затраты. Снижения затрат на электроэнергию можно достичь двумя путями. Первый путь – экономико-организационный: использование тарифов, дифференцированных по зонам суток с одновременной корректировкой нагрузки потребителей в соответствующее время. Второй путь – технический: использование собственных генерирующих мощностей предприятия при условии, что условные затраты на 1 кВт · ч энергии ниже, чем при покупке ее из объединенной энергосистемы. Промышленная нагрузка может быть классифицирована на контролируруемую – которая может быть объектом действий по управлению, и постоянную во времени нагрузку – которую задают в определенные периоды времени и она не может быть объектом управления. Контролируемая нагрузка, в свою очередь, может быть разделена на независимую нагрузку; зависимую от технологического процесса нагрузку; нагрузку, ограниченную хранением и последовательную (по технологии) нагрузку. Потребители, имеющие контролируемую нагрузку, определены как потребители-регуляторы. Целью исследования является разработка модели управления режимами электропотребления промышленного предприятия для уменьшения финансовых затрат на электроэнергию.

В исследовании технологический процесс рассматривается в дискретных интервалах времени. Работа или отключение оборудования в определенные интервалы времени формируется при помощи бинарного кода. Оптимизация режимов электропотребления не должна влиять на технологический процесс или производство. Для устранения возможных конфликтов необходимо учитывать систему ограничений. Среди основных ограничений рассматриваются ограничение производства (минимальный выпуск продукции предприятием), на хранение продукции (максимальная сберегательная способность складов), технологического процесса (минимально необходимый поток материалов от одной стадии процесса к следующей), по операционной последовательности для машин и ограничение максимальной нагрузки. Для расчета была сформулирована целевая функция: минимизация затрат на электроэнергию.

При исследовании была рассмотрена система электропотребления предприятия сельскохозяйственного машиностроения. С точки зрения управления электропотреблением интерес представляет система водоотвода предприятия. Водоотвод осуществляется насосными установками из водосборника, который рассчитан на хранение суточного запаса воды. При расчете необходимо было учитывать возможности хранения воды водосборником и ограничение по мощности насосных установок. Для оптимизации режима электропотребления системы водоотвода была предложена схема перехода на внепиковую эксплуатацию. Были проведены расчеты для перехода на ночной режим работы оборудования и на ночной и полупиковый. Оба варианта являются экономически обоснованными. Тем не менее переход на ночную работу насосного оборудования является более эффективным. При переводе оборудования водоотвода на новый режим работы необходимы дополнительные капитальные затраты на насосные установки.

УДК 658.26:621.311.004.18

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Е. Н. Иншеков, В. П. Розен, А. В. Чернявский

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Введение. В настоящее время внимание многих специалистов в области энергосбережения привлечено к появлению стандартов ISO 50001 и EN 16001. Появлению этих стандартов предшествовали национальные стандарты Великобритании (BS 8207:1985), США (ANSI/IEEE 739:1995, ANSI/MSE 2000), Дании (DS 2403:2001), Ирландии (I.S. 343:2005), Украины (ДСТУ 4472:2005, ДСТУ 4715:2007, ДСТУ 5077:2008), Беларуси (СТБ 1777–2009). Хотя концепции всех этих стандартов имеют некие различия между собой, в них можно выделить, как минимум, одну общую идею – процесс внедрения систем энергетического менеджмента (СЭМ) является не разовым мероприятием, заканчивающимся решением определенной совокупности задач, а представляет собой последовательный процесс оптимизации всех сторон деятельности как управляемой, так и управляющей системы.

Постановка задачи. Так как нарушение допустимых границ показателей функционирования СЭМ может привести к нарушению нормального ее функционирования, то необходимо проводить периодическую оценку эффективности функционирования СЭМ. Изучение этого вопроса показало, что на сегодняшний день слабо развита практика использования имеющейся теоретико-методологической базы в области оценки эффективности функционирования СЭМ.

Описание модели оценки эффективности функционирования СЭМ. Для оценки уровня эффективности функционирования СЭМ предлагается использовать набор критериев оценки (профиль) эффективности функционирования СЭМ, который охватывает четыре группы критериев: критерии организованности, критерии обеспеченности, критерии наблюдаемости и критерии скорректированности СЭМ. Шифр критерия оценки состоит из четырех частей, каждая из которых разделена точкой: первая часть – буквенная (одна или две буквы) характеризует группу критериев (соответственно **Ор**, **Об**, **Н**, **К**); вторая часть – буквенная (одна или две буквы) характеризует подгруппу критериев; третья часть – числовая характеризует порядковый номер критерия в подгруппе; четвертая часть – числовая характеризует лингвистическое значение соответствующего

критерия (критерии могут иметь два, три, четыре или пять лингвистических значений). Например: **Ор.Д.1.3** означает, что «**Ор**» – критерий относится к группе критериев «Организованности»; «**Д**» – критерий относится к подгруппе критериев «Документация»; «**1**» – критерий имеет первый порядковый номер в подгруппе критериев «Документация»; «**3**» – критерий имеет лингвистическое значение, равное «3». Алгоритм оценки уровня эффективности функционирования СЭМ предлагается построить на основе модуля нечеткого логического вывода. Каждый уровень эффективности функционирования СЭМ описывается соответствующим стандартизированным профилем эффективности функционирования СЭМ, которые формируют базу правил оценки уровня эффективности функционирования СЭМ.

Выводы: 1. Для эффективного функционирования СЭМ необходимо проводить периодическую оценку уровня эффективности ее функционирования. Для этого прежде всего необходимо разработать методику оценки и сформировать набор критериев оценки.

2. Определение уровня эффективности функционирования СЭМ является сложной научной задачей, которая относится к слабо структурированным и слабо формализованным и требует для своего решения привлечение ЛПР, что влечет за собой возникновение субъективных оценок, которые, в свою очередь, приводят к возникновению неопределенности. В связи с этим перспективным направлением для оценки эффективности функционирования СЭМ является использование лингвистического подхода на базе теории нечетких множеств.

УДК 621.89

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАСЕЛ

Н. Ф. Соловей

ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике, г. Гомель, Беларусь

С. В. Короткевич

РУП «Гомельэнерго», Беларусь

О. В. Холодилов

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

Жесткие условия эксплуатации гидравлических систем предъявляют повышенные требования к эксплуатационным (особенно противозадирным) свойствам и термоокислительной стабильности гидравлических масел.

С целью экономии отработанные масла можно использовать вторично, доводя их характеристики до необходимого уровня путем сепарирования (центробежной очистки). Однако при сепарировании достигается не только необходимый класс чистоты, но и происходит изменение физико-химических показателей масла за счет модификации или вывода из состава масла присадок и добавок. В связи с этим необходимо оценивать влияние сепарирования на сохранение противоизносных, противозадирных и других свойств масел.

Цель исследований – определить триботехнические характеристики (несущая способность, задиро- и температуростойкость) гидравлического масла МГЕ-46В до и после сепарирования.

Методика эксперимента. Объектом исследования являлись образцы гидравлического масла МГЕ-46В в состоянии товарной поставки и после сепарирования.

Исследования триботехнических характеристик масел проводились на модернизированной машине СМТ-1 по схеме вал–частичный вкладыш (множественный контакт). Контролировались следующие параметры: момент трения, контактное сопротивление, температура. Для автоматизации процесса снятия контролируемых параметров и анализа получаемой информации использовалась специально разработанная компьютерная программа. Контролируемые параметры несут следующую информацию:

- момент M (коэффициент f) трения определяет антифрикционные свойства масла;
- критическая нагрузка схватывания N и температура T в зоне контакта характеризуют противозадирные свойства масла;
- контактное сопротивление R_c коррелирует с толщиной граничных смазочных слоев между контактирующими поверхностями в зоне трения и характеризует несущую способность граничного смазочного слоя масла.

Доставка смазочного материала в зону контакта осуществлялась путем непосредственного погружения ролика в ванночку с исследуемым маслом. Линейная скорость вращения ролика составляла 0,5 м/с, площадь сегмента – $2 \cdot 10^{-4}$ м². Поверхности сегментов и роликов (сталь 45) предварительно шлифовались и полировались до среднего арифметического отклонения $R_a \approx 0,04–0,08$ мкм. Было проведено три эксперимента: в эксперименте 1 и 2 шероховатость соответствовала 11 кл., а в эксперименте 3 $R_a \approx 0,08–0,16$ мкм – 10 кл.). Среднее контактное давление находилось в диапазоне 6,5–64,5 МПа. Объемная температура в зоне трения регистрировалась хромель-копелевой термопарой, помещенной на расстоянии 2 мм от контактной поверхности сегмента. Погрешность измерения коэффициента трения составляла $\pm 0,01$.

Исследования показали, что прочностные, антифрикционные и противозадирные свойства масла в состоянии товарной поставки выше, чем у сепарированного масла.

УДК 531.3

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЕТРЯНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ТИПА НЕЖ

Ю. А. Кашин, М. И. Жадан, Е. М. Березовская

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

Р. Е. Кашина

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

Пропеллерная ветротурбина, ныне широко применяемая в энергетике и по традиции, иногда называемая ветряной мельницей, была изобретена во II в. до н. э. Ее ведущим рабочим органом было и остается вращаемое ветром колесо, содержащее вал отбора мощности, плотно посаженную на него монолитную ступицу и множество n одинаковых, равномерно распределенных вокруг ступицы и кинематически связанных с ее ободом своими цокольными основаниями, жестко-упругих пластин – лопастей, выступающих для набегающего на турбину ветрового потока однородным веером подвижных непроницаемых препятствий с n промежуточными проточными

каналами и преобразующих в принудительную полезную работу мощностью N_K вращения вала отбора мощности часть кинетической энергии воздушного потока, проходящего сквозь решетку вращающихся лопастей и расходуемой им на преодоление сопротивления своему поступательному движению со стороны тех же лопастей.

Систему понятий и физические основы ныне принятой теории ветряных мельниц, разработал в конце XVIII – начале XIX в. основоположник аэродинамики летательных аппаратов и основатель ЦАГИ Николай Егорович Жуковский (1847–1921 гг.). Он же инициировал и обосновал применение высококачественных аэродинамических (крыловых) профилей лопастей ветряных мельниц и их геликоидальную форму, назвав ветряной мельницей типа НЕЖ предложенную им ветротурбину [1].

В ветроэнергетике мощность N_K полезной работы вращения рабочего вала ветроколеса и силу P_K лобового давления ветра на него принято определять следующими зависимостями: $N_K = c_N v_0 S_K = \frac{\rho U_0^3}{2} c_N S_K$, Вт, $P_K = c_P p_0 S_K = \frac{\rho U_0^2}{2} c_P S_K$, Н, где ρ – плотность воздуха, кг/м³; U_0 – скорость ветра, м/с; S_K – площадь ветровой тени ветроколеса, м²; c_N и c_P – взаимозависимые комплексные аэродинамические характеристики состояния ветроколеса, определяемые совокупностями параметров исполнения и состояния ветроколеса.

В данной работе на основе гипотез и положений теории Н. Е. Жуковского выполнен формальный анализ осесимметричного стационарного процесса взаимодействия ветряной мельницы типа НЕЖ с однородным ветровым потоком, получены формулы для расчета ее аэродинамических коэффициентов c_N и c_P , определены условия достижения режима наивысшего уровня конверсии ветровой энергии такой турбиной и условия ее авторотации с минимальным ветровым сопротивлением. Обсуждаются технические возможности осуществимости этих экстремальных режимов работы.

Литература

1. Жуковский, Н. Е. Ветряная мельница типа НЕЖ : собр. соч. / Н. Е. Жуковский – М.–Л. : ГИТТЛ, 1950. – Т. 7. – С. 349.

УДК 621.31

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОДА С НАПРЯЖЕНИЯ 6 КВ НА НАПРЯЖЕНИЕ 10 КВ УЧАСТКА ГОМЕЛЬСКОЙ ГОРОДСКОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ С РП-12 С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМОВ ЕЕ НЕЙТРАЛИ

Г. И. Селиверстов, Д. О. Марцелев

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

Известно, что потери активной энергии зависят от величины напряжения. С его увеличением потери снижаются пропорционально квадрату напряжения.

Это особенно актуально для Гомельской городской кабельной электрической сети, часть участков которой еще работает на напряжении 6 кВ с режимом изолированной нейтрали. Перевод электрической сети на напряжение 10 кВ с изменением режима ее нейтрали путем заземления нейтрали всех или определенной части трансформаторов позволяет решить и другие задачи:

– обеспечение резервирования потребителей путем отключения средствами релейной защиты поврежденных участков;

– отсутствие перенапряжений в сетях и отказ от средств компенсации емкостных токов;

– повышение степени электробезопасности электрической сети и т. д.

Нами рассмотрен участок электрической сети напряжением 6 кВ с РП-12, содержащий 12 трансформаторных подстанций (ТП) и 33 кабельные линии общей протяженностью 26,7 км, получающих питание от электрической подстанции напряжением 110 кВ «Западная».

Установлено, что силовое электрическое оборудование рассматриваемых ТП и РП и их силовые трансформаторы физически изношены, а срок службы кабельных линий завершился или находится на пределе и, в итоге, требует замены.

Выполнен анализ и дана оценка аварийности повреждений оборудования городской кабельной электрической сети и установлены закономерности повреждений, характерные для кабельных линий, ТП и РП рассматриваемого участка кабельной электрической сети.

Для реконструируемого участка электрической сети выбрана система распределенного заземления нейтрали с установкой дополнительных трансформаторов марки ТМ-400 на электрической подстанции «Западная».

Определены токи короткого замыкания на напряжении 10 кВ, которые составили: трехфазные – в максимальном режиме не превышают 18,31 кА, в минимальном – 3,8 кА; однофазные – в минимальном режиме составляют не менее 1,47 кА.

Выполнен выбор и расчет кабельных линий, электрооборудования, силовых трансформаторов реконструируемого участка электрической сети, предложены средства защиты его элементов.

Выполнены расчеты режимов реконструируемого участка кабельной электрической сети. Установлено, что потери активной мощности (энергии) при его переводе на 10 кВ снижаются в нормальном и послеаварийном режимах более чем в 2,53 раза.

Определены затраты на реконструкцию участка кабельной электрической сети.

УДК 621.314.21.002.56

ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Н. В. Грунтович, П. М. Колесников

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

Организация эксплуатации трансформаторов с применением современных методов технической диагностики позволяет повысить их безотказность и увеличить срок эксплуатации в 1,5–2 раза. Самый распространенный метод диагностирования в республике – это хроматографический анализ газов, растворенных в масле, и термографическое обследование [1]. К функциональным методам диагностирования следует отнести виброконтроль, который специалистами предприятий практически не применяется.

Вибрация в трансформаторе возникает из-за:

– ослабления прессовки обмоток и магнитопроводов при длительной эксплуатации;

– частых импульсных нагрузок (горные подъемные машины и плавильные печи);

– высших гармоник.

Ослабление прессовки обмоток и магнитопровода приводит к увеличению потерь холостого хода. Под воздействием вибрации расслаивается твердая изоляция,

происходит истирание твердой изоляции и загрязнение масла механическими примесями, ухудшается прессовка обмоток и магнитопровода. В итоге в трансформаторе возникают частичные разряды в масле, на поверхности изоляции и в самой изоляции. Под воздействием частичных разрядов ухудшаются диэлектрические свойства изоляции.

Общий уровень вибрации трансформаторов измеряется под нагрузкой в диапазоне 10–1000 Гц и проводится спектральный анализ вибрации в диапазоне 10–5000 Гц и 10–15000 Гц в зависимости от режимов работы. Чем больше выбрано точек для измерений, тем точнее можно определить место дефекта в трансформаторе. Вибрацию трансформатора рекомендуется измерять в трех точках по высоте каждой фазы: верхней, средней и нижней. Наиболее эффективным будет диагностирование при измерении вибрации с максимальной и минимальной нагрузкой [2].

Вибродиагностирование трансформаторов позволяет отказаться от измерения потерь холостого хода и короткого замыкания, что очень важно для повышения надежности электроснабжения потребителей с непрерывным технологическим процессом.

Л и т е р а т у р а

1. Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Библиограф, 1996. – 276 с.
2. Грунтович, Н. В. Техническое диагностирование элементов атомной энергетической установки. Часть I. Методика прогнозирования технического состояния корабельных электрических машин и насосов / Н. В. Грунтович. – Севастополь, 1984. – 92 с.

УДК 622.23.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

В. Н. Галушко

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

В качестве основных параметров математической модели надежности функционирования оборудования можно использовать наработку на отказ и среднее время восстановления, что позволяет охарактеризовать безотказность и долговечность оборудования. Такой подход к оценке вероятности отказа элементов реализуется с учетом статистической информации о различных типах отказов, полученных в результате обследований. Значения результирующей вероятности безотказной работы и интенсивности отказов системы с учетом эксплуатации и без нее различны в несколько раз.

Целью работы является применение аналитического и статистического инструментария для определения основных показателей надежности электрооборудования и электрических систем с учетом изменяющихся условий эксплуатации. Изучение динамики закономерностей показателей надежности объектов во времени позволит с минимальной затратой времени и ресурсов обеспечить необходимую продолжительность и эффективность их работы. Можно выделить следующие основные задачи исследования: анализ значений показателей надежности объектов, а также динамики их изменения во времени; синтез систем по заданным критериям надежности; обеспечение и повышение надежности объектов.

В зависимости от информационной составляющей исследуемого объекта и возможности проведения статистических испытаний выполнены разные подходы по

определению параметров надежности: при наличии данных по параметрам надежности объектов исследования в необходимом объеме; при отсутствии сведений по параметрам надежности, по возможности проведения статистических испытаний; только в случае известной структуры объекта.

Структура программного инструментария включает в себя следующие элементы: шаблон исходных данных и библиотеку реализованных элементов (bibl. elementov); шаблон данных параметров моделирования в виде номинальных величин и отклонений от них (parametr. modelirov); дерево возможных связей между элементами; шаблон влияния различных факторов в виде процедуры аналитической зависимости для каждого элемента системы между показателями надежности и параметрами моделирования.

Практическое применение результатов исследования заключается в создании обоснованных предпосылок определения основных показателей надежности электрических систем при воздействии различных факторов. Результаты исследования позволят: прогнозировать показатели надежности электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации; оценить степень опасности и установить «узкие места» электрических систем; разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования. Изучение закономерностей и динамики изменения показателей надежности объектов во времени позволит обеспечить обоснованную с точки зрения надежности продолжительность их работы.

Степень новизны результатов, которые затронуты в исследовании, характеризуется следующими положениями: разработана структура постоянно пополняемой библиотеки влияющих факторов на показатели надежности во время эксплуатации; реализовано математическое описание функционального состояния электрических систем по имеющейся информации, основанное на локализации источников, снижающих ее работоспособность.

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Т. В. Алферова

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

В. Н. Галушко

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

Сложность моделирования электрических систем связана с высокой степенью неопределенности, значительным числом элементов, влияющих факторов и взаимосвязей, неоднозначностью и нелинейностью их взаимодействий, наличием противоречивых требований к характеристикам. В связи с этим актуальной является тема данного исследования, определяющая необходимость создания программно-технологического инструментария моделирования различных процессов электрических систем.

Разработка модели электрических систем реализуется последовательностью следующих этапов:

– формирование шаблона исходных данных по результатам расчетов и паспортных данных электрооборудования;

- разработка программы;
- получение результатов в удобном для исследователя виде;
- верификация и проверка адекватности полученных результатов; анализ работоспособности электрической системы при моделировании различных отказов и аварийных ситуаций.

Реализация осуществляется в программе Multisim 11 с последующим программированием на языках VHDL и SPICE. Выбор данной электронной системы моделирования предполагает следующие достоинства:

- легкий доступ к расширенным библиотекам элементов;
- возможность разработки новых библиотек элементов на языках VHDL и SPICE;
- расширенный набор измерительных приборов;
- возможность объединения в пакет различных анализов или образцов одного и того же анализа для последовательного выполнения;
- наличие запрограммированных отказов элементов;
- наличие встроенного отладчика ошибок моделирования.

Основные задачи, решаемые с помощью модели:

- 1) получение требуемых данных на стадии проектирования и эксплуатации, на основе высокой степени детализации отдельных процессов и элементов системы;
- 2) более точный учет отклонений значений напряжений и токов при различных конфигурациях применяемого оборудования;
- 3) моделирование разносторонних аварийных ситуаций в автоматическом режиме на основе имеющейся информации по срокам наработки на отказ отдельных элементов или в «ручном» режиме;
- 4) многокритериальное оценивание эффективности работы основного электрооборудования в различных режимах эксплуатации.

Практическая значимость исследования заключается в следующем: инструментарий позволяет создавать имитационные модели с высоким уровнем детализации статических и параметризации динамических элементов модели; сокращения сроков разработки моделей за счет создания шаблонов, объединяющих несколько элементов.

УДК 621.315.2.048

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПВХ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ПРИ НАЛИЧИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ПИТАЮЩЕМ НАПРЯЖЕНИИ

А. А. Алферов

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

Расчетные соотношения для тепловых процессов одножильного кабеля можно получить из упрощенной математической модели, конструктивно состоящей из токоведущей жилы, основной изоляции жилы и защитной оболочки, помещенной в воздушную среду.

Расчет изменения температурных характеристик изоляции одножильного кабеля в установившемся режиме проводился в соответствии с [1]. Данная методика позволяет рассчитать изменения температуры в жиле кабельной линии при изменении потерь мощности в ней. Она также применима для расчета тепловых характеристик изоляции при известных потерях в ней.

Выполнив расчет изменения температуры изоляции, были получены результаты, приведенные на рис. 1.

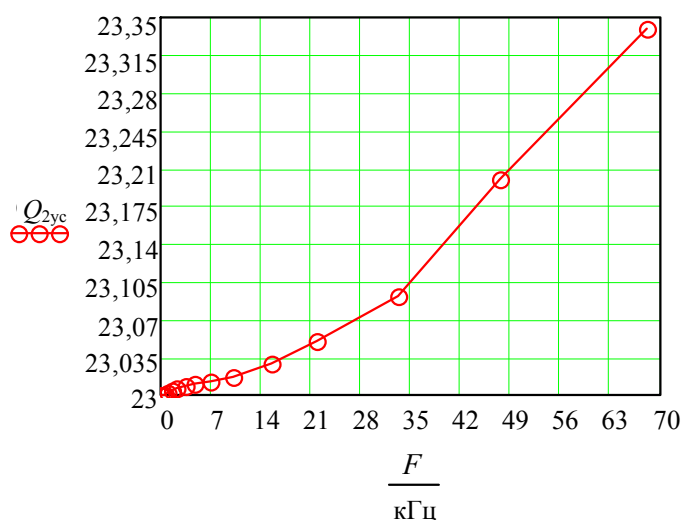


Рис. 1. Зависимость изменения температуры изоляции от частоты питающего напряжения

Из анализа рис. 1 следует, что с увеличением частоты питающего напряжения возрастает температура изоляции кабельной линии. При частотах до 20 кГц приращение температуры по отношению к окружающей среде составило 0,035 °С, а при частоте 68 кГц 0,35 °С. Данное явление обусловлено увеличением токов утечки и снижением сопротивления изоляции под действием высших гармоник питающего напряжения. Это приводит к дополнительным потерям активной мощности, которая рассеивается в виде тепла и вызывает дополнительный нагрев диэлектрика.

Литература

1. Математическое моделирование тепловых процессов в силовых кабелях с пластмассовой изоляцией / Д. М. Зализный и [др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 65–75.

УДК 536.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПАРООБРАЗОВАНИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ НА ГЛАДКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Е. Н. Волкова, В. Г. Якимченко, А. В. Родин

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

Целью работы является установление зависимостей и разработка методов расчета для определения интенсивности теплоотдачи при парообразовании озонобезопасных хладагентов на гладких поверхностях в условиях большого объема на основе результатов экспериментального исследования процесса теплообмена.

В работе проведены экспериментальные исследования на установке по изучению процессов теплообмена при кипении на развитых поверхностях по стандартной

методике определения коэффициентов теплоотдачи в объеме жидкости при организации на теплоотдающей поверхности граничных условий второго рода. В качестве теплоотдающей поверхности выступала горизонтальная гладкая трубка.

Эксперименты проводились при различных значениях плотности теплового потока и давлений насыщения. Тепловой поток плавно повышался до достижения максимально возможной величины, после плавно уменьшался.

По результатам экспериментов были установлены эмпирические зависимости для инженерных расчетов интенсивности теплообмена при парообразовании на технически гладких поверхностях.

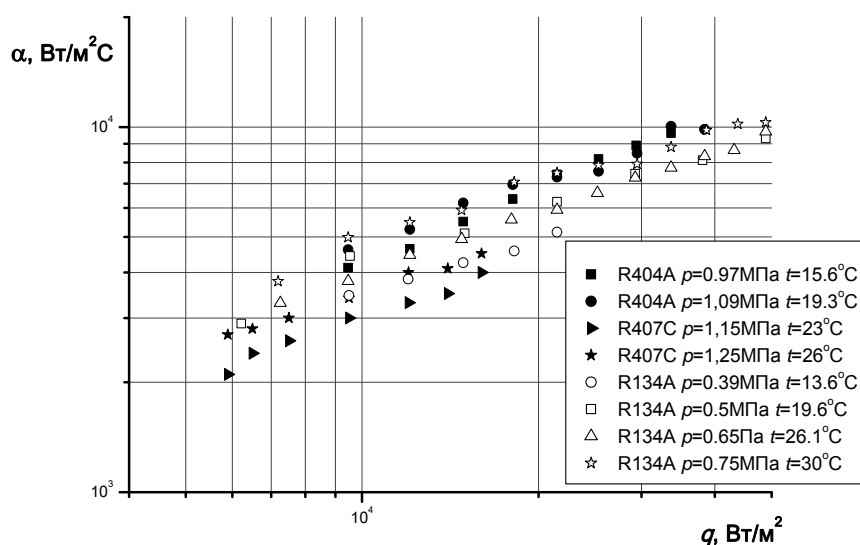


Рис. 1. Сопоставление экспериментальных зависимостей $\alpha = f(q)$ в области развитого пузырькового кипения для фреонов 134а, 404а и 407с

Для уменьшения погрешности в расчетных значениях при определении коэффициентов теплоотдачи были установлены эмпирические формулы, описывающие опытные данные с погрешностью не более 10 % для R134а, не более 6,5 % для R404а и не более 5,5 % для R407с.

УДК 621.314.21.002.56

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАРЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович

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

За время эксплуатации происходит износ и старение узлов и деталей электрических машин. Учитывая, что многие предприятия в республике строились в 70–80-е гг., то сегодня целесообразно говорить об организации системы управления старением и износом электрических машин и другого оборудования. Срок службы, ресурс оборудования закладывается в процессе проектирования, реализуется при изготовлении и поддерживается в процессе эксплуатации. В процессе эксплуатации оборудования можно выделить жизненные циклы: монтаж, наладка, профилактический осмотр и

ремонт, текущий и капитальный ремонты. Скорость износа различных узлов и деталей разная, а отклонение технологического процесса от стандарта на любом цикле ускоряет процесс старения узла или детали. Например, перекос наружного кольца в ролике подшипника во время монтажа значительно сокращает ресурс. Наиболее характерной такой ситуацией является для подшипников качения и изоляции обмоток электрических машин. Сегодня хорошо известно, что в результате износа технологического станочного оборудования на подшипниковых заводах Беларуси, России, Украины выпускаемые ими подшипники имеют характерные дефекты: некруглость и неравномерность тел качения, повышенную микроволнистость внутреннего и наружного колец, овальность внутреннего кольца и др. В отдельных подшипниках можно выявить два и более перечисленных дефекта. При таком качестве изготовления рабочий ресурс подшипников небольшой и ставить их на механизмы длительно непрерывной работы нецелесообразно. Эту проблему на предприятиях можно решить входным контролем подшипников качения перед установкой на механизм на специальных стендах. Такие стенды имеются на Могилевском ПО «Химволокно», ОАО «Гродно-АЗОТ» и др. На многих предприятиях текущий и капитальный ремонт проводят согласно регламенту, что совершенно недопустимо в современных условиях. Необходимо производить ремонт по результатам технического диагностирования. Что касается изоляции обмоток электрических машин, то по-прежнему на предприятиях проводят высоковольтные испытания для оценки диэлектрической прочности. Следует заметить, что МЭК не рекомендует проводить такие испытания. Как показывает практика, степень износа и старения изоляции можно оценить по изменению следующих параметров: тангенсу угла диэлектрических потерь, коэффициенту поляризации или микропористости и по интенсивности частичных разрядов. Большое значение для увеличения ресурса имеют современные технологии и качество ремонта. Следовательно, говорить об управлении старением электрических машин сегодня реально при применении современных методов технического диагностирования на всех жизненных циклах и при высоком качестве ремонта. Разумеется, это возможно при высочайшей квалификации специалистов.

УДК 621.311.017

СОВРЕМЕННАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

В. Д. Елкин

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

Электрическое освещение наружного освещения территорий промышленных предприятий и организаций традиционно проектировалось и выполнялось светильниками с ртутными разрядными лампами ДРЛ мощностью 250 Вт. При энергетическом обследовании предприятий выявляется, что на многих предприятиях эксплуатируется наружное освещение с лампами ДРЛ250.

Ртутные лампы: дуговая ртутная люминесцентная (ДРЛ). Характеризуется высокой светоотдачей и сроком службы в среднем 10000 ч. Светоотдача ламп ДРЛ составляет примерно для ДРЛ 250–54 лм/Вт.

В настоящее время электротехническая промышленность зарубежных и отечественных производителей освоила выпуск ламп и светильников с более энергоэффективными показателями для внутренней и наружной установки. Предлагаются

светильники с металлогалогенными лампами ДРИ, с натриевыми лампами ДНаТ, с компактными люминесцентными лампами КЛЭ, с индукционными лампами, со светодиодными лампами.

Металлогалогенные лампы: дуговые ртутные с излучающими добавками (ДРИ) – это ртутные лампы высокого давления с добавлением иодидов металлов или йодидов редкоземельных элементов. Световая отдача и цветопередача дугового разряда ртути и световой спектр значительно улучшаются по сравнению с лампами ДРЛ.

Натриевые лампы (ДНаТ): наиболее эффективные современные источники света. Световая отдача их достигает 100–130 лм/Вт (рекорд среди источников света). Продолжительность работы – до 15000 ч.

Светодиодные лампы (СИД). Решение проблемы снижения мощности, электропотребления и эксплуатационных затрат осветительных установок позволит решить средствами, которые ранее не воспринимались всерьез – это светодиодные лампы (СИД).

Индукционные лампы: люминесцентные лампы нового поколения. Главное отличие от других аналогичных ламп – отсутствие электродов розжига. Отсутствие у ламп электродов позволило достичь срока службы 100 000 ч, что в 6–10 раз превышает долговечность стандартных разрядных люминесцентных ламп.

Основные технические характеристики ламп, позволяющих заменить энергоэффективные лампы ДРЛ250, представлены в таблице.

Тип	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	КЛЭ	Светодиодная	Индукционная
Мощность ламп, Вт	250	150	100	2 × 57	100	80
Световая отдача, лм/Вт	40...60	90...100	70...130	30...80	80...100	80
Срок службы, тыс. ч	6–10	6–8	6–20	до 12	до 80	80–100
Ориентировочная стоимость светильника с лампой, тыс. р.	450	990	925	1000	2500 и более	2400

Сравнение технических характеристик современных энергосберегающих ламп показывает, что ртутные лампы ДРЛ значительно уступают по световой отдаче, как основной характеристике ламп, а также по сроку службы.

Стоимость современных энергосберегающих ламп значительно выше ламп ДРЛ, но при расчете энергосберегающих мероприятий срок окупаемости составляет до 5 лет.

УДК 621.577

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОАСОСНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А. В. Овсянник, Д. С. Трошев

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

Целью работы является оценка энергетической эффективности применения теплонасосных установок пароконденсационного и абсорбционного типов в системах

индивидуального теплоснабжения, а также определение наиболее эффективные схем индивидуального теплоснабжения.

В тепловых насосах (ТН), также как и в холодильных машинах (ХМ), осуществляется перенос тепла от тел и сред с низкой температурой к телам и средам с более высокой температурой. Их энергетическую эффективность оценивают практически одинаково: по относительной величине затрат высококачественной работоспособной энергии к трансформированному количеству тепла. Однако прямое отождествление этих машин является спорным. Условия конкурентирования ТН и их практическая реализация намного более сложные, чем на рынке ХМ. Это связано с тем, что ТН используют более широкий спектр низкопотенциальных теплоносителей природного и техногенного происхождения (воздух, грунт, вода подземных и поверхностных источников, очищенные и неочищенные промышленные и хозяйственно-бытовые стоки и т. п.), которые могут отличаться значительной сезонной нестабильностью и технической доступностью.

Поэтому оценку энергетической эффективности предлагается производить по экономии условного топлива на выработку 1 ГДж тепловой энергии. Для этого были определены удельные расходы топлива на выработку теплоты для различных источников и рассчитаны годовые расходы топлива для различных схем.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Применение тепловых насосов в системе теплоснабжения значительно снижает годовой расход условного топлива, следовательно является энергетически оправданным.

2. Наименьший расход топлива оказался при использовании парокомпрессионного теплового насоса с механическим приводом на источнике НТП грунт (вода) в схеме воздушного отопления (или системы отопления «теплый пол»).

3. При одинаковых системах отопления и источниках НТП энергетически наиболее выгодным оказался парокомпрессионный тепловой насос с механическим приводом.

4. Абсорбционный тепловой насос и парокомпрессионный тепловой насос с электроприводом показали практически равные расходы условного топлива. И хотя расход условного топлива на АБТН оказался немного ниже, следует учесть, что при расчетах пренебрегли расходом условного топлива на насос крепкого раствора.

5. Чем меньше разница между температурами источника низкопотенциальной теплоты и теплоносителя в системе отопления, тем выше энергетическая эффективность тепловых насосов. Таким образом, при проектировании системы теплоснабжения с тепловыми насосами желательнее применять воздушное отопление и систему «теплый пол» как наиболее выгодные с энергетической точки зрения.

УДК 621.314

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ «МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Н. В. Грунтович, А. Н. Гуминский

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

В условиях острого дефицита энергоресурсов и высокой их стоимости многие предприятия задумываются о целесообразности сооружения собственного источника электроснабжения в качестве дополнения к существующему питанию от энергосис-

темы. Техничко-экономическое обоснование во многих случаях подтверждает высокую эффективность данных проектов. Однако практика показывает, что процесс внедрения собственных источников электроснабжения часто оказывается гораздо сложнее, чем это представляется на первый взгляд. Часто в процессе эксплуатации в аварийных режимах возникают непредвиденные обстоятельства, влияющие как на электроснабжение самого предприятия, так и на функционирование энергосистемы.

На примере опыта эксплуатации реальных энергообъектов «малой генерации» необходимо определить системные ошибки стадий проектирования, строительства, эксплуатации для исключения данных ошибок в дальнейшем. В большинстве случаев в периодической печати и интернет-ресурсах обсуждаются только положительные стороны «малой генерации». Особенности проектирования энергообъекта, проблемы на стадии монтажа и наладки оборудования, вопросы надежной эксплуатации рассматриваются поверхностно, очень часто не оцениваются в комплексе работы с энергосистемой.

В условиях активного развития «малой энергетики» для успешного ее функционирования необходимо выполнить целый ряд мероприятий. Необходимо внести недостающие изменения в нормативные акты, касающиеся подключения генерирующих источников к распределительным сетям энергосистемы. Совершенствовать диспетчеризацию, контролировать перетоки мощности, как минимум, на линиях с реверсами мощности. Особое внимание уделять подготовке проектной документации, усилить процедуру экспертизы и допуска, задействовав все заинтересованные службы и ведомства предприятий энергосистемы. Только затем на основании данной проектной документации подготавливать распределительные сети 6–10 кВ к включению «малой генерации». Также в обязательном порядке требовать от предприятий с «малой генерацией» отдельно составлять заявки на потребление электроэнергии и генерацию. Следовательно, если нет заявки на потребление электроэнергии, на границе раздела должна устанавливаться направленная защита на отключение. Если имеется заявка на потребление, то в соответствии с проектной документацией необходимо инвестировать в инфраструктуру внешней распределительной сети. Необходимо учитывать мощность КЗ в точке подключения генераторов. Она должна позволить выполнить условия чувствительности и селективности РЗА. В любом случае, РЗА должна отключать источники «малой генерации» при аварийных режимах в энергосистеме, будь то полное отключение генераторов или выделение последних на «остров нагрузки» посредством делительной автоматики.

УДК 536.24

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПАРООБРАЗОВАНИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Т. С. Наумова, С. С. Сидоренко

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

Целью работы является разработка методики экспериментального исследования теплообмена при парообразовании озонобезопасных хладагентов R134a, R404a, R407c, определение наиболее эффективных методов интенсификации теплообмена, изготовление опытных образцов, определение погрешности измерений и коэффициентов теплоотдачи.

Для исследования теплообмена при кипении жидкостей на неизотермических оребренных поверхностях был создан экспериментальный стенд для изучения процессов парообразования в испарителях холодильных и теплонасосных установок.

Методика проведения исследований экспериментальная, так как отсутствуют данные по опытному изучению процесса парообразования хладагентов на гладких и оребренных поверхностях. Исследования проводились при различных значениях избыточного давления и подводимых тепловых потоках. Условия проведения экспериментальных исследований были определены граничными условиями второго рода.

Экспериментальный стенд оснащен лабораторным оборудованием: мановакуумметром с точностью $\pm 0,20 \cdot 10^3$, измеритель-регулятором «Сосна-002» класса точности 0,5 со шкалой 0–800 °С для регистрации значения температуры, для определения подводимой мощности использовались вольтметр типа Э533 и амперметр типа Д553.

К наиболее перспективным из озонобезопасных хладагентов относятся R134A, R404A и R407C, обладающие помимо хороших теплофизических характеристик высокими диэлектрическими свойствами и химической совместимостью с большинством конструкционных материалов. Благодаря этим качествам они могут широко применяться в испарительных теплообменниках погружного типа, в качестве рабочих жидкостей в тепловых трубах.

Перед проведением исследования производились подготовительные работы включающие все нормативные подготовительные работы перед пуском холодильных и теплонасосных установок.

Для того чтобы удостовериться в надежности полученных опытных данных, на экспериментальных установках выполнялись контрольные опыты, опытные данные настоящих исследований удовлетворительно согласуются с результатами опытов, полученными другими авторами на гладких горизонтальных трубах в диапазоне изменения давлений от 0,1 до 0,5 МПа.

Исследование закономерностей теплообмена при кипении озонобезопасных хладагентов помимо решения экономических проблем позволяет значительно улучшить экологические характеристики теплообменных аппаратов применяемых в холодильной и других отраслях промышленности за счет отказа от использования озоноразрушающих теплоносителей.

Согласно расчетам максимальная погрешность проводимых экспериментов не превышала 30 %.

УДК 621.315

О ВОЗМОЖНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА БУРЫХ УГЛЯХ В ПОЛЕСКОМ РЕГИОНЕ

О. М. Головач

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

Концепцией энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь а также стратегией развития энергетического потенциала страны (соответствующие документы приняты правительством в 2005 и 2010 гг.) предусмотрены диверсификация видов топлива, используемого в топливно-энергетическом балансе, максимальное целесообразное использование собственной минерально-сырьевой базы. Одной из возможностей развития в этом направлении является вовлечение в топливный баланс имеющихся в Беларуси бурых углей.

По мнению экспертов разведанные запасы бурых углей в Беларуси составляют около 160 млн т. При этом возможна их промышленная разработка. Наиболее перспективные для промышленного освоения по горнотехническим условиям – месторождения, расположенные в западной части Гомельской области, – Тонежское, Бриневское, Житковичское. Средняя мощность пластов белорусских бурых углей – 3–4 м, максимальная – 19,9 м при глубине залегания от 20 до 700 м.

В связи с этим представляется актуальным рассмотреть возможность создания угледобывающего предприятия и твердотопливной угольной электростанции на базе Тонежского месторождения бурых углей. Целью данной работы является анализ возможных технических решений при сооружении электростанции.

В качестве места расположения конденсационной тепловой электростанции принята площадка западнее районного центра Лельчицы. Установленная мощность по предварительным оценкам может составить 450–500 МВт.

Предложены варианты структурных схем станции, в том числе блочные схемы с одним энергоблоком мощностью 500 МВт, тремя энергоблоками по 150 МВт, схема с поперечными связями для пяти котельных агрегатов и двух турбин мощностью 255 МВт. Осуществлен подбор основного оборудования: приняты котлы паровые на сверхкритических параметрах пара для работы на бурых углях, а также конденсационные паровые турбины и турбогенераторы серийного производства предприятий РФ. При технико-экономическом сравнении в качестве наиболее целесообразного определен вариант блочной схемы с тремя энергоблоками по 150 МВт.

Наибольшее внимание уделено разработке схемы выдачи электрической мощности станции. Предложено осуществить связь с энергосистемой воздушными ЛЭП на напряжениях 330 и 110 кВ. Ближайшими к станции электрическими узлами в разработанной схеме являются ПС-330 кВ системообразующей сети «Микашевичи», «Калийная», «Мозырь», а также узловые подстанции сети 110 кВ Гомельской энергосистемы. Результаты выполненных расчетов установившихся режимов подтверждают работоспособность схемы в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах. Для реализации схемы потребуется значительное электросетевое строительство.

Для принятого варианта разработана главная схема электрических соединений электростанции с РУ-330 кВ, РУ-110 кВ и автотрансформаторами связи, обоснованы мощности силовых трансформаторов и трансформаторов собственных нужд.

Сооружение крупной электростанции в Полесском регионе позволит обеспечить эффективное развитие энергетического потенциала страны, улучшить баланс мощности Гомельской энергосистемы, усилить электрические сети региона, повысить надежность электроснабжения районных центров, промышленных потребителей.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБОСТАНЦИЙ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛА НА ПУНКТАХ Понижения Давления ГАЗА

Т. В. Алферова, В. В. Бахмутская, О. А. Полозова

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

Транспортируемый по магистральным газопроводам природный газ обладает потенциальной энергией сжатого состояния и кинетической энергией движения по трубе. Основная часть этой энергии диссипируется на пунктах редуцирования газа.

Обычно снижение давления газа, транспортируемого по магистральному газопроводу, происходит в два этапа. Первый этап – это газораспределительная станция (ГРС),

где давление от транспортного снижается до 1,2...1,6 МПа. И второй этап – снижение давления газа на газораспределительном пункте (ГРП) до давления 0,1...0,3 МПа, необходимого потребителю.

В целях экономии энергоресурсов и капитальных вложений на пунктах понижения давления газа (газораспределительных пунктах) РПУП «Гомельоблгаз» предлагается установка турбостанций производства НПП «Газэлектроприбор», благодаря которым процесс понижения давления перед подачей топлива к потребителям может быть использован как альтернативный источник получения энергии. Так как энергия подведена к газу на этапе закачки в газопровод, возвращение ее позволит более рационально использовать затраченные ресурсы, снизить себестоимость транспортных услуг и получить дополнительную прибыль.

В турбостанциях НПП «Газэлектроприбор» реализован энергосберегающий, автономный, экологически чистый процесс получения электричества и тепла за счет:

- преобразования имеющейся потенциальной энергии в тепловую;
- снижения капитальных затрат на получение тепла;
- обеспечения удаленных и обособленных объектов системой автономного электро- и теплоснабжения.

Турбостанции отличаются простотой конструкции и достаточной надежностью. Поскольку работа, отводимая из потока газа турбиной, невелика, температура газа снижается незначительно и не влияет на работу регуляторов давления газа. В то же время для предотвращения отрицательного влияния пониженной температуры на работу регуляторов одним из схемных решений установки турбины является расположение ее после регулятора, но до вывода импульсной трубки командного давления регулятора. В этом случае охлажденный газ, протекая по газопроводу до потребителя, постепенно приобретает температуру окружающей среды вследствие теплопередачи через стенку трубы и трения.

С учетом рабочего давления и допустимого срабатываемого перепада давления на ГРП предприятия предлагается установка турбостанций мощностью от 0,01 кВт до 10 кВт. Установки такого типа комплектуются генераторами постоянного тока напряжением от 12 до 48 В, что позволяет использовать их в качестве станций катодной защиты, питания контрольно-измерительных приборов и телемеханики, а также для нужд освещения. При необходимости установки комплектуются блоками преобразования напряжения до 220 В или 380 В с частотой тока 50 Гц. Наряду с задачей энергосбережения основным преимуществом применения автономных источников энергии на ГРП является отсутствие необходимости подвода линии электропередач.

Ожидаемая годовая экономия энергоресурсов от применения турбостанций составляет 7,26 т у. т/год на один ГРП при сроке окупаемости 1,1 года.

УДК 658.26:621.31

О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЛЯ СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

А. В. Дробов

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

Энергосбережение – это многогранная проблема, которая требует для своего решения наличия соответствующего методологического, технического, информационного, организационного, математического и программного обеспечения [1]. На сегодняшний день

практический опыт в вопросах энергосбережения накоплен недостаточный, чтобы энергосбережение сформировалось как отрасль науки, как совокупность многогранного обеспечения. Решение проблемы энергосбережения носит сугубо творческий, субъективный характер с решением отдельных первоочередных задач направленных на экономию ТЭР. Например, проведение энергоаудита потребителей, разработка технического учета расхода ТЭР, норм расхода энергоресурсов, отдельных мероприятий по экономии ТЭР. Очевидным является и то, что только при системном подходе к решению вопросов энергосбережения ТЭР может быть достигнут значительный результат, наибольший экономический эффект. Целесообразным является комплексный подход к исследованию всей полноты вопросов, возникающих при энергосберегающей деятельности.

В рамках проведения обследования энергопотребления ряда предприятий машиностроения определены конкретные пути, задачи по работе, направленные на повышение энергоэффективности в отрасли.

В частности, предлагается матричная декомпозиция системы потребления и использования ТЭР, которая позволяет в достаточно полном объеме выявить мероприятия по энергосбережению. Все мероприятия удалось классифицировать на следующие пять групп:

- 1) системы энергообеспечения (электро-, тепло- и топливоснабжение);
- 2) автономные, собственные источники энергии (генераторы, ТЭЦ, котельные, альтернативные и другие источники);
- 3) по потреблению и использованию ТЭР; учетно-нормативная база (учет энергоресурсов, нормы расхода их, ППР энергооборудования, эксплуатационная надежность, суточные графики нагрузок и др.);
- 4) общепромышленные установки и здания (компрессоры, насосы, вентиляторы, подъемно-транспортные механизмы, сварочное, металло- и деревообрабатывающее оборудование, электрическое освещение, котлы, теплообменники);
- 5) специальные технологические установки и линии, определяемые конкретным предприятием, отраслью промышленности.

По каждой из групп разработаны базы данных мероприятий по энергосбережению.

Это одно из основных направлений, позволяющих повысить эффективность работы по энергосбережению.

Л и т е р а т у р а

1. Энергосбережение. Основные термины и определения : СТБ П 1770–2007. – Введ. 01.12.07 до 01.12.09. – Минск : БелГИСС, 2007. – 6 с.

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНЫМИ РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

А. В. Иванейчик

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

Целью данного исследования является разработка математических моделей технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками и методов, направленных на снижение электропотребления и энергозатрат в условиях, когда режимы электропотребления изменяются скачкообразно, а расчет на электроэнергию осуществляется по многоставочным тарифам на электроэнергию.

Был выполнен анализ и показаны недостатки существующих способов управления электропотреблением потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками в условиях многоставочных тарифных систем.

Применительно к задачам управления электропотреблением потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками систематизирована статистика по потреблению электрической энергии, выпуску продукции и технологическим факторам, влияющим на расход электроэнергии, сформирована информационная база данных.

Разработаны математическая модель и программа для моделирования эффективных режимов работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками.

Разработаны методика и программа для анализа режимов работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками и определения наиболее эффективных режимов их работы.

Разработаны методика по составлению прогрессивных норм расхода электрической энергии с учетом особенностей работы потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками.

Определение энергоэффективных режимов работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками в нестабильных условиях производства целесообразно осуществлять в три этапа:

– разработка уточненных моделей и расходных характеристик электропотребления энергоемкого оборудования дифференцированно по диапазонам его производительности;

– оптимизация электрических нагрузок по критерию минимума расхода электроэнергии;

– оптимизация электрических нагрузок с минимальным расходом электроэнергии по критерию минимума затрат на покупку электроэнергии.

Установлено, что для технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками электропотребления снижение производительности до минимума в часы максимумов нагрузки энергосистемы не всегда целесообразно. Управление режимами технологического оборудования с такими расходными характеристиками электропотребления позволяет снижать не только расход электроэнергии, но и затраты на ее покупку.

Установлен потенциал энергосбережения за счет управления электрическими нагрузками для ряда предприятий: снижение расхода электроэнергии может составить до 6 %, снижение затрат на покупку электроэнергии может составить до 12 %, что возможно, как правило, без существенных денежных вложений.

УДК 621.311

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ И ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Ю. Н. Колесник, А. В. Иванейчик

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

В рыночных условиях функционирования промышленные потребители электроэнергии работают в различных режимах из-за меняющейся производственной

программы и технологических факторов, что в свою очередь приводит к работе оборудования с изменяющейся энергоэффективностью. Поэтому в современных условиях, когда объем производства продукции носит неопределенный характер и зависит от множества технологических факторов, а также спроса, наличия сырья на складе, а потребляемая электроэнергия изменяется в существенных пределах, становятся актуальными задачи определения и оценки наиболее эффективных режимов работы технологического оборудования не только с энергетической, но и с экономической точки зрения.

Предложены новые подходы определения и оценки наиболее эффективных режимов работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками электропотребления. В их основе лежит определение оптимальных электрических нагрузок технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками, что обеспечивает не только снижение общего и удельного потребления электрической энергии, но и энергозатрат предприятия. При этом решены следующие задачи:

- собраны и систематизированы данные по электропотреблению оборудования;
- определены факторы, влияющие на режим электропотребления оборудования;
- разработана математическая модель электропотребления и энергетических затрат потребителя;
- разработаны алгоритмы определения и оценки эффективных режимов работы технологического оборудования;
- выполнена оптимизация режима работы технологического оборудования по критерию минимума расхода электроэнергии, а также минимума энергозатрат;
- выполнена оценка эффективности работы оборудования при многоставочных тарифах на электроэнергию.

Определение оптимальных режимов работы технологического оборудования позволяет:

- наиболее эффективно расходовать электроэнергию при производстве продукции;
- уменьшить затраты на покупку электроэнергии;
- разработать и обосновать прогрессивные нормы расхода электроэнергии в зависимости от производительности;
- определить оптимальный состав работающего оборудования при заданном выпуске продукции;
- определять потенциал энергосбережения при формировании программы по энергосбережению на предприятии.

В результате комплекса оптимизаций для различных предприятий и производств с кусочно-непрерывными расходными характеристиками было установлено, что практическая реализация предложенных подходов позволяет снизить электропотребление на 2 %, затраты на покупку электроэнергии на 12 %. При этом наиболее энергоэффективный режим не всегда является наименее энергозатратным и наоборот. Предложенный подход позволяет не только контролировать электропотребление, но и использовать наиболее эффективные режимы работы оборудования, что делает режим электропотребления обоснованным как с энергетической, так и экономической точки зрения.

УДК 621.88.084

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ РАСЧЕТНО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЫБОРА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ю. Н. Колесник, А. Н. Беляй

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

В связи с растущей актуальностью задач по повышению энергетической эффективности производств, внедрению энергоэффективной техники и технологий в современных условиях, работа специалистов по энергосбережению усложняется, становится более напряженной и ответственной. Для более эффективного решения этих задач была разработана автоматизированная расчетно-справочная система для оценки энергетической и экономической эффективности энергосберегающего оборудования и его выбора. Принципы построения системы основаны на создании справочного (база данных по энергосберегающему оборудованию) и расчетного (методы расчетов энергетической и экономической эффективности) блоков, разработке удобного интерфейса, и могут быть адаптированы к значительному количеству энергосберегающих мероприятий.

На данном этапе исследований система позволяет автоматизировать расчеты по применению частотных преобразователей, выбору энергоэффективных распределительных трансформаторов, устройств управления энергопотреблением в системах электроснабжения, термореновации ограждающих конструкций зданий.

В частности, для расчета потенциала экономии электроэнергии в насосных агрегатах за счет применения преобразователя частоты, оценки его эффективности используется соответствующее приложение системы. Программа опирается на сравнительный анализ дроссельного и частотного регулирования объемного расхода. В расчетно-справочной системе имеется база данных основных технических характеристик частотных преобразователей фирмы АВВ.

Исходными данными являются параметры насосного агрегата, режим его работы, характеристики преобразователей частоты. Для расчета, прежде всего, требуются номинальные параметры агрегата, номинальное давление, заданное (необходимое) давление. Для более детальной настройки приложения имеется возможность указания относительного суточного расхода в определенные промежутки времени. Исходные данные по суточному расходу необходимо согласовать с технологическими особенностями данного производства. Также в расчетах учитывается действующий тариф на электроэнергию, затраты на частотный преобразователь.

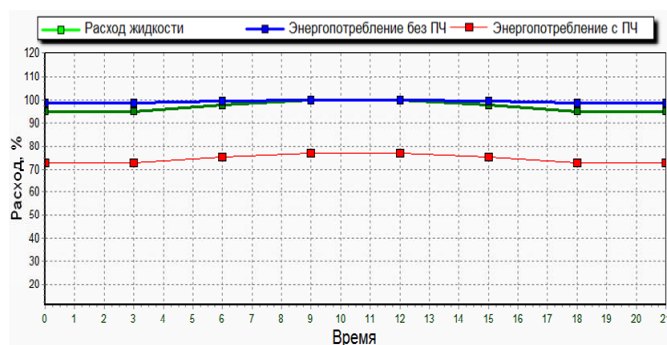


Рис. 1. Результаты расчета экономии электроэнергии за счет ПЧ

Результаты представляются в табличном и графическом видах. Пользователь может наглядно оценить затраты, а также стоимость сэкономленной электроэнергии за счет применения предлагаемого системой частотного регулятора.

По исходным и расчетным данным в графической форме выводится динамика расхода жидкости и электропотребления во времени, которая отображает эффективность внедрения мероприятия.

С помощью данного программного обеспечения рассчитаны энергоэффективные проектные решения по реконструкции системы электроснабжения и ее совершенствованию на ОАО «МНПЗ».

УДК 658.26:621.31

ПРОГРАММА ДЛЯ ЭВМ КОМПЛЕКСНОГО СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. Г. Ус, С. И. Бахур

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

Спецификой систем внутреннего электроснабжения промышленных предприятий является то, что схемы их разработаны, как правило, в разомкнутом режиме. В таком случае нагрузка элементов сети однозначно определяется потребителями рассматриваемого канала их питания. Вместе с тем, наличие в схеме большого количества резервных связей создает условия для перераспределения нагрузок по линиям и трансформаторам.

Безусловно, работа тех или иных электроприемников, их загрузка в конечном счете определяются величиной нагрузки, нагрузка обуславливает необходимость распределять электроэнергию по вполне конкретным схемам электрической сети, в которых минимальны потери электроэнергии.

Учитывая также, что важным фактором, формирующим величину потерь в элементах электрической сети и в электроприемниках, является уровень напряжения. А в соответствии с ГОСТом этот предел для нормального режима работы относительно велик – $\pm 5\%$. Конкретный набор работающих электроприемников, их загрузка определены вполне конкретные рациональные напряжения на выводах электроприемников, обуславливающее минимальные потери электроэнергии.

Вопросы перераспределения нагрузки и регулирования усиливаются еще необходимостью компенсации реактивной мощности в электрической сети, которая с одной стороны должна быть в пределах разрешенных значений питающей энергосистемы, а с другой стороны обуславливать минимальные потери в элементах системы электроснабжения.

Такие совместные комплексные решения вышеназванных задач позволяет обеспечить значительную экономию электроэнергии в системах электроснабжения и потребителях.

Для этой цели разрабатывается программа комплексного снижения потерь электроэнергии в системах электроснабжения на базе программы комплексного расчета режимов распределительных электрических сетей 6–10 кВ, разработанной на кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого.

Построение конфигурации модели электрической сети выполняется на основе метода вторичных адресных отображений.

Ввиду того, что при выполнении электрических расчетов разомкнутых сетей наибольшие трудности вызывает информационное обеспечение, сами расчеты обычно не требуют существенных затрат машинного времени, представляется целесообразным, опираясь на одну и ту же исходную информацию, определять максимально полезные расчетные параметры.

Основными данными являются конкретная конфигурация схемы электрической сети, уровни напряжения и величины компенсации реактивной мощности в характерных точках электрической сети.

УДК 621.311

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Е. Л. Шенец

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

Для достижения целей повышения эффективности управления потреблением энергетических ресурсов на промышленных предприятиях со сложной зависимостью между энергопотреблением и конечным временем выпускаемой продукции, а также имеющих разветвленную систему распределительной сети электроснабжения производственных мощностей актуальным является решение следующих задач:

1. Получение достоверных данных по энергопотреблению при финансово-экономическом планировании (управлении) промышленным предприятием со сложной зависимостью между энергопотреблением и выпуском продукции. Одним из вариантов решения поставленной задачи является использование расчетно-статистической математической модели (зависимость между энергопотреблением и объемом выпускаемой продукции). Предложен критерий, позволяющий обосновать применение того или иного метода моделирования энергопотребления с целью минимизации ошибки.

2. Получение достоверных данных по энергопотреблению у производств имеющих общий учет энергоресурсов со вспомогательными подразделениями (котельная, компрессорная, сварочный цех и т. д.). Автором разработан метод, позволяющий решить данную задачу.

3. Оценка потерь электрической энергии в разветвленной заводской и особенно цеховой сети предприятия. Эта задача особо актуальна при проведении энергетического обследования предприятия. Разработан метод по определению потерь электроэнергии, отличающийся низким уровнем требований к исходным данным в части получения фактических значений силы тока по каждой питающей линии разветвленной сети.

Решение указанных задач позволило получить следующие результаты:

Установлена закономерность по погрешности математической модели электропотребления промышленного предприятия (в зависимости от способа ее построения) в условиях варьирования загрузки производственных мощностей. Применение указанного критерия в алгоритме построения математической модели позволило минимизировать погрешности математической модели с 90 до 10 %.

Разрешена проблема по расчету нормы энергопотребления для каждой из хозяйственной структуры промышленных предприятий, имеющих общие вспомогательные производства. Результаты расчета по предлагаемому методу не превышают в максимуме погрешность 4,4 % от фактического энергопотребления любого из рассматриваемых производств.

Предложенный метод по оценке потерь электрической энергии в разветвленной распределительной сети предприятия позволяет определять потери с погрешностью 3,7 % от фактических значений потерь (полученных путем измерений).

УДК 631.132

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СБОРЩИК ДАННЫХ МСД-2010

В. И. Микулович, С. Ф. Шнитко, И. В. Петров

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

Целью работы является описание прибора «Многофункциональный сборщик данных» и рассматривается возможность его применения для решения задач диагностирования электрических машин.

Многофункциональный сборщик данных МСД-2010 предназначен для аналого-цифрового преобразования выходных сигналов датчиков, которые представляют собой электрический заряд, напряжение или ток, временного сохранения полученных данных в буферном ОЗУ и передачи их в ПЭВМ для дальнейшей обработки.

МСД позволяет подключать 6 импульсных датчиков, имеющих выход типа «открытый коллектор», и измерять период следования их выходных импульсов.

МСД работает под управлением ПЭВМ на напряжении 220 В в сети переменного тока и 9–18 В в сети постоянного тока с потребляемой мощностью не более 5 Вт, и может использоваться как отдельно, так и в составе измерительно-информационной системы при экспериментальном исследовании протекания различных процессов или контроле технического состояния различных машин и механизмов, а также промышленного оборудования.

МСД предназначен для работы в следующих условиях: температура воздуха – от +5 до +45 °С; относительная влажность воздуха – не более 80 % при температуре +25 °С; атмосферное давление – 760 ± 40 мм рт. ст.

По требованиям к электробезопасности МСД удовлетворяет классу защиты 01 в соответствии с ГОСТ 12.2.007–75.

Состав комплекта МСД: многофункциональный сборщик данных МСД-2010; конвертор интерфейсов USB–RS-232; вибропреобразователи АР-34, АР-40; преобразователь тока АРРА-32; датчик оборотов ФД-2; держатель магнитный ДМ-2; штатив ШМД-1 для датчика оборотов; кабель соединительный интерфейса RS-232; кабели антивибрационные АК10; кабель соединительный датчика оборотов ФД-2; кабель соединительный преобразователя тока АРРА-32; шнур соединительный сетевого питания; кабельные переходники АР01; программа драйвера конвертора USB–RS-232; программа интерактивного интерфейса пользователя; программа цифровой обработки данных; комплект документации.

МСД не является самостоятельным устройством и может работать только под управлением ПЭВМ, выполняя команды (запросы), поступающие от нее по интерфейсу RS-232.

Из описания прибора следует, что МСД является высокотехнологичным продуктом, имеющим высокие характеристики работы и позволяющим осуществлять удобный сбор данных, качественную и быструю обработку результатов и вывод их в доступном для пользователя виде.

Л и т е р а т у р а

1. Микулович, В. И. Многофункциональный сборщик данных : рук. по эксплуатации / В. И. Микулович, С. Ф. Шнитко. – Минск, 2011. – 47 с.

УДК 628.984

СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. И. Кравченко, Т. Н. Савкова

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

Проектирование систем освещения (СО) на основе современных источников света (СИС) затруднено недостатком систематизированной информации по световой эффективности, которое обусловлено отсутствием прогресса в международной стандартизации этого направления и доступного по ценам измерительного оборудования. На сегодняшний день проектированию и производству современных ИС для промышленных предприятий в Республике Беларусь не уделяется должного внимания. Значительное количество современных ИС для промышленных предприятий импортируется. Поэтому возникает важная задача разработки рекомендаций по применению СИС для промышленных предприятий; исследования характеристик современных светильников с определением их области использования и определение экономической целесообразности использования СИС для создания рассматриваемой СО.

Целью данной работы является разработка рекомендаций по применению СИС для промышленных предприятий с целью снижения электропотребления.

Был проведен анализ рынка осветительных приборов Республики Беларусь и международных производителей по следующим показателям: потребляемая мощность; световой поток; кривая сила света (КСС); коэффициент мощности источника питания; индекс цветопередачи.

Светодиодные источники света (ИС) за счет низкого расхода финансовых средств в течение периода эксплуатации, длительного жизненного цикла, высокой яркости, отсутствия инфракрасного и ультрафиолетового (УФ) излучений являются лидерами в рейтинге прочих ИС.

Исследованы характеристики коммерчески доступных светодиодных осветительных приборов производства Республики Беларусь. Построены объемные диаграммы освещенности, диаграммы углового распределения силы света и изолуксы.

С помощью программы DiaLux проводилось светотехническое моделирование СО на примере цеха штамповки и литья № 3 ОАО «Ратон». Дальнейшее сравнение светильников и результатов светотехнического проектирования выполнялось по ряду показателей: минимальная освещенность на рабочей плоскости, равномерность распределения освещенности, удельная установленная мощность освещения, количество светильников в установке, потенциал энергосбережения.

Определена группа критериев (коэффициент использования светового потока, коэффициент равномерности освещения, критериальная оценка) для выбора наиболее оптимальной формы КСС из типовых видов для цеха № 3 ОАО «РАТОН». Разработан алгоритм выбора оптимальной формы КСС для ОУ. Приведен комплексный способ выбора оптимальной формы КСС и оптимальной ОУ, учитывающий как количественные (коэффициент использования светового потока), так и качественные (равномерность) показатели ОУ.

Результаты работы будут способствовать более эффективному проектированию СО на основе СИС. При этом разработанные рекомендации по применению СИС могут быть использованы для проектирования СО промышленных предприятий.

УДК 621.314

ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

И. В. Петров

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

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования оборудования в промышленности. Назначением диагностики является выявление и предупреждение отказов и неисправностей, поддержание эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях полного доремонтного и межремонтного ресурса.

Практически мгновенная реакция вибросигнала на изменение состояния оборудования является незаменимым качеством в аварийных ситуациях, когда определяющим фактором является скорость постановки диагноза и принятия решения.

Вибродиагностирование электрических машин позволяет вовремя выявить развивающиеся дефекты, которые в будущем могут привести к аварийному выходу из рабочего состояния.

Неопределенности в процессе диагностирования обусловлены следующими причинами:

1. Отсутствием информации о подшипниках качения. При отсутствии информации о подшипниках качения, по которым определяются информативные частоты, допускается приблизительно вычислять значение информативных параметров вибрации.

2. Отсутствием статистических данных о динамике износа. Для решения данной задачи необходимо иметь представление о физике работы подшипника качения. Траекторией движения каждой точки шарика является гипоциклоида. Характеристикой гипоциклоиды является кратность гипоциклоиды. Вероятность того, что кратность гипоциклоиды окажется целым числом, бесконечно мала, отсюда следует, что вероятность соприкосновения шарика с поверхностью наружного кольца в одной и той же точке также бесконечно мала. Поэтому при измерении вибрации в конкретной раперной точке можно определить усредненное значение вибрации по 4–8 значениям. Далее, не перемещая датчик, проводится 3–4 измерения спектра вибрации в этой точке. Если имеется износ каких-либо узлов подшипника, то на соответствующих частотах вибрации на основании измерений проявится резкий скачок уровня вибрации. Чем больше эта разница, тем большим будет износ подшипника.

3. Сложностью определения предельных значений параметров вибрации для каждого механизма. Решение этой задачи производится несколькими способами: принять за основу рекомендации международных и государственных стандартов; принять в качестве граничных значений рекомендации зарубежных или отечественных ученых; в качестве граничных значений можно принимать огибающие верхних и нижних значений амплитуд вибрации на информативных частотах.

Литература

1. Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Библиограф, 1996. – 276 с.
2. Грунтович, Н. В. Техническое диагностирование элементов атомной энергетической установки / Н. В. Грунтович. – Севастополь, 1984. – Ч. I. Методика прогнозирования технического состояния корабельных электрических машин и насосов. – 92 с.

УДК 620.9:005.93:502.174

**НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ
ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИМ СОСТАВОМ ВУЗА
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ****Н. В. Голубцов, О. В. Федоров***Нижегородский государственный технический университет
имени Р. Е. Алексеева, Россия*

Целью исследования является обоснование возможности и целесообразности участия профессорско-преподавательского состава вуза в решении задач, направленных на повышение энергоэффективности производственно-технологической, организационно-управленческой, эксплуатационной, бытовой и прочей деятельности людей и формирование энергосберегающей направленности мышления обучающихся.

Главный вызов, с которым столкнулось человечество, связан с проблемами нарастающего дефицита энергоресурсов и загрязнения окружающей среды. По данным Государственной программы РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» энергоемкость ВВП России в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5–3,5 раза выше, чем в развитых странах. Общий потенциал энергосбережения только в России оценивается примерно в 40–45 % от общего объема текущего энергопотребления. Проведенные исследования показали, что интеллектуальные и инновационные возможности современных российских вузов, прежде всего технических, позволяют одновременно осуществлять подготовку бакалавров, специалистов и магистров нового типа, обладающих энергосберегающей направленностью мышления и способных успешно решать научно-теоретические и практические задачи энерго- и ресурсосбережения. В результате совмещения образовательной и научно-исследовательской деятельности в вузах, обеспечения творческого взаимодействия различных поколений преподавателей, ученых и обучающихся, формирования междисциплинарных связей, сотрудничества с производственными предприятиями и научно-исследовательскими организациями появляется положительный синергетический эффект, обеспечивающий плодотворный поиск ответов на современные вызовы в энергетике. В процессе реализации Закона РФ 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» под руководством авторов доклада, только в рамках исследований по рассматриваемой тематике, в период 2010–2012 гг. опубликованы 3 монографии, в том числе монография [1], более 20 работ в журналах и сборниках, в том числе включенных в списки ВАКов Беларуси, России и Украины, подготовлено 3 отчета о НИР, получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Обучающимися в вузе под научным руководством авторов выполнено за этот период более 30 исследований, часть из которых участвовала во всероссийских и региональных конкурсах научных работ студентов. В 2010 и 2011 гг. две студенческие работы по проблемам энергоэффективности награждены премиями Минобрнауки РФ по приоритетному национальному проекту «Образование». Кроме того, участники конкурсов отмечены дипломами, грамотами и другими поощрениями.

Таким образом, профессорско-преподавательский состав вузов имеет возможность и должен продуктивно участвовать в решении актуальных проблем энергосбережения и повышения энергетической эффективности, включая разработку теории и практики энерго- и ресурсосбережения, экологической безопасности и эффективного использования минерально-сырьевых ресурсов, формирования энергосберегающей направленности мышления обучающихся.

Л и т е р а т у р а

1. Федоров, О. В. Ресурсосбережение в энергетике / О. В. Федоров, Н. В. Голубцов, И. И. Гребенюк. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 247 с.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Тезисы докладов

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

Гомель, 25–26 октября 2012 года

Ответственный за выпуск Н. Г. Мансурова

В авторской редакции

Подписано в печать 17.10.12.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 18,60. Уч.-изд. л. 14,51.

Тираж 144 экз. Заказ № /87.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр Учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48