
СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

- Кенько В. М., Степанкин И. Н. Исследование механизма разрушения материалов при циклическом нагружении и разработка методов повышения стойкости холодновысадочной оснастки* 9
- Балакин В. А. Пути повышения надежности работы и износостойкости тормозов* 10

Секция А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

- Астахов Э. И., Пирч А. И., Саболевский А. К. Динамика разгона мобильной машины с маховичным двигателем* 12
- Астахов Э. И., Коссинский А. С. Параметрические колебания в приводах с рычажным механизмом* 13
- Петров С. В. Поверхностное модифицирование резино-технических изделий* 14
- Плешанов В. С., Напряушкин А. А., Солодушкин А. И., Сапожников С. В., Кибиткин В. В. Оценка механического состояния деталей машин и элементов конструкций методом оптического потока* 15
- Кубенко В. Д., Марченко Т. А., Старовойтов Э. И. Напряженное состояние плоского упругого слоя при ударе жестким телом о его поверхность* 16
- Рабцевич А. В., Мацулевич О. В. Новые возможности метода динамического индентирования в приборе «Импульс-2М»* 17
- Горин Г. С., Захаров А. В. Курсовая устойчивость МТА на базе колесного трактора при работе с несимметричной тяговой нагрузкой* 18
- Тюшкевич Б. Н., Окушко В. А. Лазерно-голографические системы с фототермопластической регистрацией для исследования вибропрочностных характеристик и напряженно-деформированного состояния промышленных изделий* 19
- Стрикель Н. И., Лискович М. И. Стенд для испытания антифрикционных втулок* 20
- Комраков В. В. Электрическое моделирование пространственных контактных задач с учетом износа* 21
- Литвин А. В. Определение точности автоматической смены зажимных элементов* 22
- Шевченко А. В. Методы повышения устойчивости процесса резания при токарной обработке нежесткой инструментальной оснасткой* 23
- Новосёлов Ю. А. Гибкий вал принципиально новой конструкции* 24

Секция Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

- Агеенко А. В., Мазюк В. В. Эффективный способ получения порошковых капиллярных структур контурных тепловых труб* 26
- Сканцев В. М. Термодинамические основы образования стабильной поверхностной структуры в деталях машин и механизмов* 27

<i>Давыдов С. В., Кешенкова В. Г. Микроструктура сплава как базовый параметр квалиметрического анализа ресурсных характеристик лопаточного аппарата турбомашин.....</i>	28
<i>Голуб М. В., Голуб В. М. Технология упрочнения колец пары трения торцового уплотнения.....</i>	29
<i>Саранцев В. В., Ковалева С. А. Повышение эксплуатационных свойств деталей за счет формирования на поверхности слоя композиционного покрытия на основе карбида титана.....</i>	30
<i>Павленко А. П., Левин И. А. Некоторые аспекты износостойкости корундовой керамики.....</i>	31
<i>Невзорова А. Б., Врублевский В. Б., Врублевская В. И., Кирпиченко Ю. Е. Сравнительные испытания подшипниковых материалов и подшипников из древесины торцово-прессового деформирования.....</i>	32
<i>Матвеев К. С., Буркин А. Н., Новиков А. К., Голубев А. Н. Исследование процесса термического старения изделий изготовленных из пенополиуретановых отходов.....</i>	33
<i>Крень А. П., Садовников А. О., Юркевич С. Н. Оценка качества закалки фторопласта методом ударного микроиндентирования.....</i>	34
<i>Гордиенко А. И., Ивашко В. В., Вегера И. И. Разработка и применение функционально-градиентных материалов.....</i>	35
<i>Дерлугян И. Д., Данюшина Г. А., Логинов В. Т., Дерлугян П. Д., Левинцев В. А., Ковалев В. Н. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства композиционных материалов.....</i>	36
<i>Станюленис Ю. Л. Энерго-ресурсосберегающий технологический процесс получения полых заготовок непрерывным горизонтальным способом литья без дорна.....</i>	37
<i>Супонев А. А. Исследование влияния отходов механообработки в шихте на формирование металлической матрицы серого чугуна при литье намораживанием.....</i>	38
<i>Лаптинский В. Н., Стеценко В. Ю., Радько С. Л. Методика аналитического расчета гидродинамики охлаждения кристаллизатора.....</i>	39
<i>Стеценко В. Ю., Радько С. Л., Харьков С. А. Влияние интенсивности охлаждения отливок из сплава АК12М2 на дисперсность кристаллов эвтектического кремния.....</i>	40
<i>Стеценко В. Ю., Радько С. Л., Харьков С. А. Влияние дисперсности кристаллов эвтектического кремния в отливках сплава АК12М2 на их износостойкость.....</i>	41
<i>Стеценко В. Ю., Радько С. Л. Повышение охлаждающей способности кристаллизатора.....</i>	42
<i>Барановский К. Э., Барановский Э. Ф. Приготовление расплава хлористой меди для непрерывного литья.....</i>	43
<i>Супонев А. А. Особенности проявления структурной наследственности отходов СЧ при получении ЧШГ при литье намораживанием.....</i>	45
<i>Шепелев А. А., Сороченко В. Г. Технологические основы алмазно-абразивной обработки полимерных композиционных материалов.....</i>	46
<i>Федосенко Н. Н., Пилипцов Д. Г., Горбачев Д. Л., Саян Н. И. Ионно-плазменный магнетронный метод нанесения функциональных и специальных покрытий.....</i>	47
<i>Лозенко В. В., Шепелевич В. Г. Метастабильная фаза цинка в фольгах, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава.....</i>	48
<i>Шепелевич В. Г. Структура быстрозатвердевших фольг сплава АМГб.....</i>	49

<i>Давыдов С. В., Сканцев В. М. Самоорганизация микроструктуры поверхностного слоя стали в процессе изнашивания</i>	50
<i>Шелехина В. М., Исупов М. А. Керамическая насадка гидромонитора.....</i>	51
<i>Шевельков В. В. Управление свойствами титановых сплавов методами термической обработки.....</i>	52
<i>Кадач Т. В., Попов В. Б. Многокритериальная оптимизация параметров типовых редукторов.....</i>	53
<i>Пантелеенко Ф. И., Пантелеенко Е. Ф., Петришин Г. В., Дмитриченко Е. Э. Износостойкие и коррозионно-стойкие покрытия, нанесенные магнитно-электрическим методом порошками на основе отходов производства.....</i>	54
<i>Злотников И. И., Хило П. А., Зубрицкий М. И. Полимеросодержащая смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки стекла</i>	55
<i>Злотников И. И., Хило П. А., Петрашенко П. Д. Эффективность использования водных растворов поверхностно-активных веществ в качестве расклинивающих жидкостей.....</i>	57
<i>Остриков О. М. Модель дислокации в аморфном материале</i>	58
<i>Остриков О. М. Потoki миграции примесей у клиновидного двойника.....</i>	60
<i>Шабловский Я. О., Суло П. А. Расчет динамической восприимчивости и упругой податливости полиморфных кристаллов.....</i>	61
<i>Стоцкая О. А., Бойко А. А., Подденежный Е. Н., Стренк В. Взаимодействие излучения ИАГ-лазера с поверхностью муллитовой и форстеритовой керамики... </i>	62
<i>Бойко А. А., Авдеев Д. М., Кенько В. М., Дробышевская Н. Е. Оптимизация состава абразивного алмазосодержащего инструмента на стеклосвязке</i>	63
<i>Артамонов В. В., Алексеенко Ю. А., Подденежный Е. Н. Влияние добавки волластонита на структурные и физико-механические характеристики фарфоровой керамики.....</i>	64
<i>Подденежный Е. Н., Гришкова Е. И., Жуковец С. Г., Дробышевская Н. Е., Кравченко И. П., Кудина Е. Ф., Тюрина С. И. Проблемы жидкофазного спекания тугоплавких керамических материалов.....</i>	66
<i>Грудина Н. В., Пашинская В. А. Антифрикционные свойства покрытий на основе полиэтилентерефталата и его низкоплавких аналогов</i>	67
<i>Кирпиченко Ю. Е. Особенности оценки триботехнических свойств твердосмазочных покрытий на стали.....</i>	68
<i>Марущак П. О., Баран Д. Я., Гладько В. Б. Влияние температуры пластического деформирования на кинетику упрочнения теплостойких сталей.....</i>	69
<i>Зубков П. И., Зубков В. П. Центробежное ускорение макрочастиц для технологии обработки материалов</i>	70
<i>Новосёлов Ю. А. О принципиальных ошибках теории базирования в машиностроении</i>	71
<i>Егоренков Н. И. Окисление полиолефинов как метод управления их адгезией к металлам.....</i>	72

Секция В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

<i>Моргунов А. П., Стрек Я. М., Глушец В. А. Моделирование процесса вдавливания деформирующего элемента методом конечных элементов.....</i>	73
<i>Пилипенко О. И., Ильин Д. А. Механическая часть цепного привода как объект управления оптимальными режимами работы системы</i>	74

Пилипенко Н. Н., Кузьмицкий А. В. Анализ конструкций возбудителей колебаний рабочих органов почвообрабатывающих машин	75
Локтионов А. В., Буткевич А. В., Васильев Р. А. Оборудование для формирования многокомпонентных нитей с разрезным ворсом	76
Локтионов А. В., Мачихо Т. А., Жерносек С. В. Исследование процесса смешивания волокнистых компонентов при формировании льносодержащих нетканых полотен	77
Кочетыгов Д. Ю. Автоматизированное проектирование и конструирование электромеханических преобразователей	78
Ковеня А. С., Босяков С. М. Применение функциональных возможностей конечно-элементных программных комплексов для моделирования и расчета сетчатых оболочек	79
Концевой И. А. Исследование основных параметров влияния на нелинейные свободные колебания теплового резонатора	81
Кроль Д. Г. Исследование периодических тепловых полей в среде с объемным источником энергии	82
Курочка К. С. Конечно-элементное моделирование напряжённо-деформированного состояния вязкоупругих тел	83
Щербаков С. А. Классификация схем базирования для формализации выбора схемы установки	84
Петухов А. В. Модель принятия решений при проектировании технологических процессов изготовления опытных образцов	85
Мурашко В. С. О подходах к автоматизации решения задачи оптимальной загрузки оборудования при подготовке производства новых изделий	86
Попов В. Б. Математическое моделирование механизма плющения растительной массы косилки-плющилки	87
Михайлов М. И. Моделирование точности сборного механизированного инструмента	88
Михайлов М. И., Шейбак М. Р. Исследование влияния формы паза державки на напряженно-деформированное состояние резца	89
Струтинский В. Б., Литвин А. В., Кравец А. М. Математическое моделирование процессов разгона шпиндельного узла металлорежущего станка с ЧПУ	90
Ефименко Г. Г., Клишев О. П. Математическое моделирование процессов стабилизации и стыковки космических объектов с учетом подвижности жидкого топлива в баках	91
Новосёлов Ю. А. Анализ компонетики универсального чертежа любых режущих инструментов	93
Якубович А. И., Тарасенко В. Е. Энергозатраты на привод вентиляторов тракторов «Беларус»	94

Секция Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Максимов Н. А., Шкетик Д. В. Разработка системы алгоритмов для сложной информационной системы на примере наземного транспортного средства, перемещающегося самостоятельно	96
Петренко В. Н., Лымарь О. В. Анализ возможности использования счетчиков электрической энергии типа АльфаПлюс для контроля качества электрической энергии	97

<i>Луковников В. И., Рудченко Ю. А. Критический сравнительный анализ методов исследования электромеханических автоколебательных систем.....</i>	<i>98</i>
<i>Сычев А. В., Пухальская О. Ю. Определение параметров дифференцированного тарифа на электроэнергию для промышленных потребителей-регуляторов.....</i>	<i>99</i>
<i>Козлов А. В. Численное моделирование многомерно-временных динамических звеньев.....</i>	<i>100</i>
<i>Котова Ю. Е. Структурная схема электронного исполнительного пункта управления наружным освещением.....</i>	<i>101</i>
<i>Изотов П. П., Кондратьев А. А. Датчики определения ответов исполнительных пунктов компьютерного диспетчерского пульта.....</i>	<i>102</i>
<i>Изотов П. П., Кондратьев А. А. Доработка электронного исполнительного пункта.....</i>	<i>104</i>
<i>Лось Д. М., Прохорчик М. А. Непрерывное диагностирование состояния контактов регулятора напряжений под нагрузкой.....</i>	<i>105</i>
<i>Широков О. Г., Петренко В. Н., Лымарь О. В. Проблемы контроля качества электрической энергии в сетях выше 1 кВ и пути их решения.....</i>	<i>106</i>
<i>Лымарь О. В. Метод и средство автоматизированного измерения частотных свойств трансформаторов напряжения.....</i>	<i>107</i>
<i>Широков О. Г., Зализный Д. И. Уточнение терминов для описания аномальных тепловых процессов в электрических машинах.....</i>	<i>108</i>
<i>Мизгайлов В. Н. Синтез радиоголограммы по требуемому полю излучения антенны.....</i>	<i>109</i>
<i>Кудин В. П. Характеристики вибраторов V-типа с опорными стойками в составе плоской фазированной антенной решетки.....</i>	<i>110</i>
<i>Кухаренко С. Н. Энергетическая эффективность широтно-импульсного регулирования электроприводов.....</i>	<i>112</i>
<i>Карпов В. А., Росточкина О. М. Исследование и разработка измерительных преобразователей для тепловых датчиков расхода.....</i>	<i>113</i>
<i>Вяхирев Н. И. Высокочастотный селективный измеритель напряженности электромагнитного поля.....</i>	<i>114</i>
<i>Манаев Р. В., Верига Б. А. Процессы теплообмена в стекловаренной печи.....</i>	<i>115</i>
<i>Баращенко М. Н., Козусев Ю. А. Последовательно-параллельный аналого-цифровой преобразователь с адаптивной опорой.....</i>	<i>116</i>
<i>Курганов В. В., Крышнев Ю. В., Баранов А. Г. Выделение информационных параметров в микропроцессорных системах релейной защиты.....</i>	<i>117</i>
<i>Карпов В. А., Захаренко Л. А., Шуликов В. И., Лядвин Е. А. Универсальный цифровой регулятор температуры.....</i>	<i>118</i>
<i>Щуплов В. В., Никеевков А. И. Рекуррентное вычисление текущего спектра сигнала.....</i>	<i>119</i>
<i>Храбров Е. А., Гарбуз В. Н. Повышение точности дистанционного пуска при корреляционном декодировании псевдошумового сигнала.....</i>	<i>121</i>
<i>Ежов В. Д. Применение персональных компьютеров в промышленности.....</i>	<i>122</i>
<i>Никеевков А. И., Щуплов В. В. Определение места повреждения кабеля.....</i>	<i>123</i>
<i>Виноградов Э. М., Мельник А. В., Мирошников Д. Г. Система радиуправления внутритрубным снарядом-герметизатором.....</i>	<i>124</i>
<i>Верига Б. А., Гизенко В. В., Орышко Р. Н. Система датчиков для устройств контроля планово-высотного положения магистральных трубопроводов.....</i>	<i>125</i>

<i>Токочакова Н. В., Мороз Д. Р. Анализ энергетической эффективности промышленных потребителей.....</i>	<i>126</i>
<i>Токочакова Н. В., Фиков А. С. Оценка экономии электрической энергии от управления системой нефтепровода</i>	<i>127</i>
<i>Фиков А. С., Колесников П. М. Изучение закономерностей формирования режимов электропотребления участков нефтепровода для оценки целевого показателя энергосбережения предприятий трубопроводного транспорта нефти.....</i>	<i>129</i>
<i>Луковников В. И., Хабибуллин Д. А., Шапоров В. В. Комплексное диагностирование насосных агрегатов на РУП «Гомельтранснефть «Дружба» ..</i>	<i>130</i>

**Секция Д. АЭРО-, ГИДРОДИНАМИКА; ПНЕВМО-
И ГИДРОСИСТЕМЫ МАШИН И АППАРАТОВ**

<i>Новикова Н. А., Новиков А. И. Повышение антифрикционных свойств уплотнительных элементов пневмоцилиндров</i>	<i>131</i>
<i>Кротиков С. П., Кобрусев Ю. В., Михневич А. В. Разработка перспективных конструкций возбудителя вибраций источника сейсмических сигналов</i>	<i>132</i>
<i>Андросенко А. П., Певнев А. А., Кончиц О. А., Михневич А. В. Модернизация преобразователя-усилителя электрогидравлического.....</i>	<i>133</i>
<i>Андросенко А. П., Кротиков С. П., Емельяничков С. П., Пинчук В. В. Модернизация устройства для хранения и транспортирования нефтепродуктов</i>	<i>134</i>
<i>Кашин Ю. А., Сафонов И. В., Кашина Р. Е. Асимптотическая устойчивость стационарного режима работы ветрогенератора на упругой подвеске.....</i>	<i>136</i>
<i>Овсянник А. В., Вальченко Н. А., Дробышевский Д. А. Анализ результатов исследования теплоотдачи при кипении различных жидкостей на оребренных поверхностях</i>	<i>137</i>
<i>Овсянник А. В., Дробышевский Д. А., Вальченко Н. А. Теплоотдача при кипении фреона-134a на оребренных поверхностях в большом объеме при различных давлениях насыщения.....</i>	<i>138</i>
<i>Гинзбург А. А., Пинчук В. В. Адаптация гидропривода с одновременно работающими исполнительными органами к нагрузке</i>	<i>139</i>
<i>Гинзбург А. А., Пинчук В. В. Использование дроссельного регулирования скорости</i>	<i>140</i>
<i>Якубович А. И., Тарасенко В. Е. Аэродинамика потока воздуха в воздушном тракте трактора.....</i>	<i>141</i>

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 620.172.2:621.785.52

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ХОЛОДНОВЫСАДОЧНОЙ ОСНАСТКИ

В. М. Кенько, И. Н. Степанкин

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

Работоспособность холодновысадочной оснастки во многом определяется стойкостью матриц, которые выходят из строя по причине усталостного разрушения и износа формообразующих поверхностей. Повысить стойкость матриц можно путем снижения действующих в процессе высадки напряжений, применением материалов с более высоким пределом выносливости и изменением структуры поверхностных слоев формообразующих поверхностей. В этих условиях необходим комплексный подход к проектированию оснастки с учетом ее конструктивных особенностей и возможных способов модификации рабочих поверхностей.

В представляемой работе осуществлен системный подход к исследованию причин разрушения и способов повышения долговечности холодновысадочной оснастки. На основании анализа напряженного состояния инструмента выявлены наиболее нагруженные участки гравюры и проведена корректировка ее геометрии с целью снижения интенсивности накопления усталостных дефектов и износа рабочих поверхностей за счет более равномерного распределения нагрузок по рабочей поверхности, изменения структуры поверхностных слоев металла и повышения их локальной прочности.

Установлено, что основным источником зарождения микротрещин в холодновысадочном инструменте являются крупные избыточные карбиды, выходящие на рабочую поверхность, и с использованием метода конечных элементов проведена оценка влияния формы, ориентации, геометрии и свойств неметаллических включений инструментальных сталей на локальное напряженное состояние в окрестности включения. Исследовано влияние соотношения модуля упругости матрицы и включения, глубины расположения включений и их формы на напряженно-деформированное состояние в окрестности карбидов и в матрице. Показано, что основной причиной разрушения материалов с упрочненной поверхностью является развитие дефектов, зарождающихся под упрочненным слоем в зоне возникновения максимальных растягивающих напряжений.

Осуществлена оценка остаточных напряжений, возникающих при карбидном и карбонитридном насыщении поверхностных слоев оснастки, и их распределения по глубине от поверхности. Проведены усталостные испытания исходных и модифицированных материалов. Показано, что при нитроцементации предел выносливости быстрорежущей стали Р6М5 повышается с 570 МПа до 650 МПа, и, соответственно, увеличивается стойкость матриц благодаря остаточным напряжениям сжатия, возникающим при химико-термической обработке.

Проведена оценка износостойкости материала матриц с учетом модификации их поверхности. Усовершенствована технология цементации стали Р6М5, обеспечивающая повышение износостойкости поверхности за счет присутствия в поверхностном слое большого количества мелких и твердых глобулярных карбидных частиц при заданной прочности и вязкости сердцевины. Исследовано влияние диффузионного упрочнения рабочих поверхностей инструмента из быстрорежущей стали на их стойкость.

Проведены комплексные исследования влияния натяга, возникающего при запрессовке холодновысадочных матриц в корпус-бандаж, на усталостную долговечность и износостойкость матриц. Предложена методика определения оптимальной величины натяга по критериям максимальной усталостной долговечности и износостойкости инструмента.

Предложена менее трудо- и энергоемкая технология изготовления рабочих поверхностей холодновысадочных матриц взамен электроэрозионного метода.

УДК 536.12:621.891

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТОРМОЗОВ

В. А. Балакин

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

Проведен анализ конструкций и условий работы тормозов легковых и грузовых автомобилей, автобусов, самолетов, тракторов и сельхозмашин.

Рассмотрены методы испытаний с фрикционным торможением космической, ракетной и оборонной техники на специальных железных дорогах, получивших название ракетные треки.

Показано, что наиболее теплонагруженными являются высокоскоростные тормоза ракетных тележек и самолетов, работающих в режиме их экстренного торможения, а также тормоза грузовых автомобилей и автобусов – в режиме их притормаживания на длинных горных спусках. Температуры поверхностей трения в этих тормозах могут достигать температур плавления и термического разложения связующего в материале фрикционных накладок. Это хорошо видно при испытаниях на стенде, имитирующем такие условия трения.

Рассмотрена теория теплового расчета тормозов. Приводятся решения одномерного уравнения Фурье для случаев нагрева неограниченной пластины переменным по времени тепловым потоком. При решении задач, связанных с кратковременными процессами трения, когда можно пренебрегать теплоотдачей в окружающую среду, используются граничные условия 2 рода, для случаев продолжительных процессов фрикционного нагрева – граничные условия 2 и 3 родов.

Поскольку понятие коэффициентов трения связано со средним значением удельной силы трения, отнесенной к номинальной площади контакта, то как интенсивность фрикционного тепловыделения, так и тепловые потоки, а также средние приращения температур отнесены к этой же площади.

Зависимости для расчета средних приращений температур в трущихся телах получены с использованием метода суперпозиции. Это значит, что любой тепловой поток разлагается на более простые тепловые потоки (постоянный, возрастающий линейно или по параболе), для которых известны точные решения теории теплопро-

водности. Соответственно и приращения температур представляют собой сумму отдельных решений теории теплопроводности.

Распределение тепловых потоков в зоне фрикционного контакта получено из условия равенства средних температур поверхностей трения как у фрикционной накладки, так и контртела. Оно зависит от теплофизических свойств фрикционных пар и конструктивных особенностей тормоза.

Показано, что тепловой режим работы тормоза зависит от коэффициента взаимного перекрытия трущихся тел, начальной интенсивности фрикционного тепловыделения и от характера изменения тепловых потоков на границе фрикционного контакта.

Даны рекомендации по конструктивному совершенствованию тормозов.

СЕКЦИЯ А. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 629.113.65+621.01

ДИНАМИКА РАЗГОНА МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С МАХОВИЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Э. И. Астахов, А. И. Пирч, А. К. Саболевский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Объектом исследования является перспективная мобильная машина городского автотранспорта с маховичным двигателем, представляющим собой быстровращающийся маховик (с частотой вращения около 15000 об/мин), запас кинетической энергии которого обеспечивает передвижение автомобиля на конечное расстояние около 200 км. Задачей работы является исследование динамики разгона такой машины как наиболее энергоемкого процесса.

В начале разгона (при $t = 0$, $w_{1,0} = w_m$ и $w_{2,0} = 0$) при включении фрикционной муфты сцепления динамическая модель трансмиссии представлена двухмассовой с приведенным моментом инерции $J_1 = \text{const}$ ведущей части (от маховика до ведущей полумуфты сцепления) и $J_2(\varphi_1)$ ведомой части (от ведомой полумуфты до колес с учетом подвижной рамы с пассажирами или грузом). На ведомую часть с J_2 действует приведенный момент сопротивления $M_n^c = M_n^k + M_n^G + M_n^b + M_n^{np}$, где M_n^k – приведенный момент перекачивания пневмошин; M_n^G – приведенный момент составляющей силы веса машины; M_n^b – момент лобового воздушного сопротивления; M_n^{np} – момент сил трения привода (трансмиссии).

Между ведущей и ведомой частями трансмиссии в муфте сцепления действует момент трения скольжения M_2 , который замедляет вращение ведущей части с J_1 и ускоряет вращение ведомой части с J_2 до времени сцепления t_c , когда угловые скорости $w_1 = w_2 = w_c$.

Зависимости угловых скоростей $w_1(t)$ и $w_2(t)$ от времени t определяется из дифференциальных уравнений движения, решаемых численным методом. После полного сцепления муфты ($t \geq t_c$ и $w_1 = w_2 = w_{1,20}$) динамическая модель трансмиссии машины представлена одномассовой с общим моментом инерции $J_{1,2} = J_1 + J_2(\varphi_1)$ под действием момента сопротивления M_n^c . Зависимость $w_{1,2}(t)$ получается из уравнения кинетической энергии машины (в интегральной форме), численное решение которого проведено на второй стадии разгона от $w_{1,20} = w_c$ (при $t = t_c$) до скорости $w_{1,2} = w_y$ установившегося движения, при котором $w_y = \text{const} = w_{60}$ скорости городского движения с $V = 60$ км/ч.

Произведена оценка энергозатрат разгона и баланса кинетической энергии, которая показала, что мобильная машина с маховичным двигателем при расчетных параметрах может обеспечить более 20 процессов разгона на заданном расстоянии движения.

УДК 531.8(075.8)+621.01

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ПРИВОДАХ С РЫЧАЖНЫМ МЕХАНИЗМОМ

Э. И. Астахов, А. С. Коссинский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Рассмотрены параметрические колебания технических систем с переменными инерционными параметрами. Во многих машинах с рычажным механизмом привода динамическая модель представляется двухмассовой крутильной системой с постоянным моментом инерции ротора двигателя и переменным приведенным моментом инерции рычажного механизма, соединенных упругим звеном (рис. 1, б, в). Задачей работы является анализ свободных параметрических колебаний таких систем.

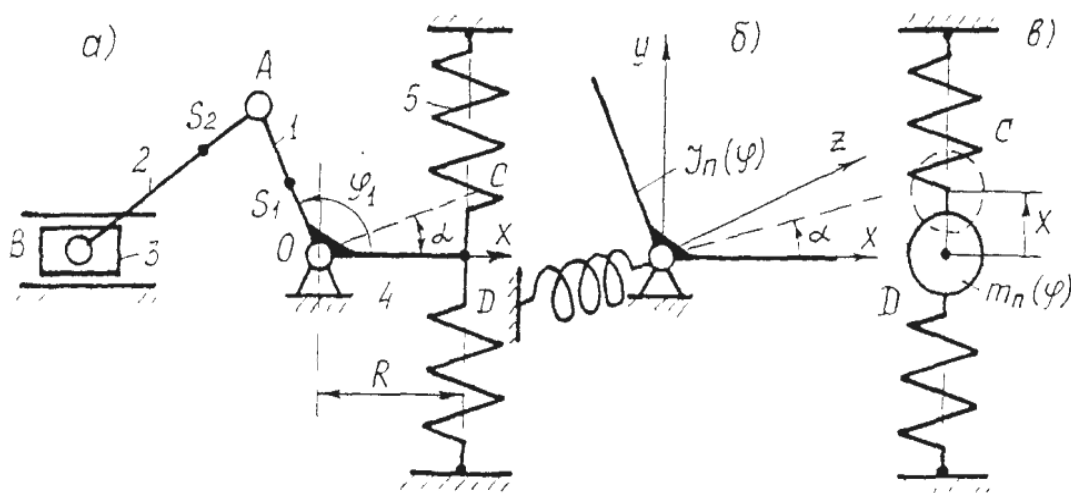


Рис. 1. Лабораторная установка ТММ-46

Периодически изменяющийся приведенный момент инерции рычажного механизма в функции угла поворота входного кривошипа является причиной возникновения крутильных параметрических колебаний в машине. Дифференциальное уравнение свободных колебаний такой системы сводится к дифференциальному уравнению Маттье с гармонически изменяющимся инерционным параметром. Анализ решений этого уравнения позволяет сделать вывод, что система привода с рычажными и другими механизмами, имеющими переменные передаточные функции, дают переменную частоту свободных колебаний. Границы собственных частот определяются экстремальными значениями приведенного момента инерции механизма. Ширина полосы частот собственных параметрических колебаний зависит от соотношения величин постоянной и переменной частей приведенного момента инерции механизма привода.

Для сокращения полос собственных частот параметрических колебаний таких систем рекомендуется: 1) увеличивать постоянную часть приведенного момента инерции механизма, повышая инерционность вращающихся звеньев механизма; 2) уменьшать переменную часть приведенного момента инерции механизма, снижая массы, моменты инерции звеньев с переменными передаточными функциями (шатун, ползунов, коромысел и т. п.). Экспериментальная проверка, проведенная на лабораторной установке ТММ-46 (рис. 1, а) с кривошипно-ползунным механизмом, подтвердила полученные аналитические результаты.

УДК 621.036.4

**ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ
РЕЗИНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ****С. В. Петров***Учреждение образования «Белорусский государственный
университет транспорта», г. Гомель*

Одной из тенденций современного машиностроения является использование методов поверхностного модифицирования РТИ, которые позволяют получать покрытия, значительно снижающие поверхностную энергию, повышающие стойкость резин к органическим растворителям и обеспечивающие при определенных режимах эксплуатации минимальные значения износа и коэффициента трения.

Наиболее широко в настоящее время распространены нанесения покрытий плазмохимическими технологиями на поверхность резинотехнических изделий на основе полиуретана (ПУ) и политетрафторэтилена (ПТФЭ) с целью снизить потери при трении. Однако отсутствие данных, способных раскрыть механизм трения и изнашивания резин, модифицированных такими покрытиями, препятствует широкому использованию данных технологий. В связи с этим представляет интерес детальное исследование влияния различных способов модифицирования бутадиен-нитрильных резин на их триботехнические свойства.

Покрытия ПТФЭ и ПУ осаждали из активной газовой фазы, генерируемой электронно-лучевым диспергированием исходного полимера в вакууме, предварительно обработанные в плазме тлеющего разряда. Толщина покрытий составляла $\approx 0,5$ мкм. Для определения триботехнических свойств резины с покрытиями из ПТФЭ и ПУ исследовались на машинах трения с разными схемами испытания.

При испытании по схеме сфера – плоскость наибольший эффект достигается от модифицирования поверхности резины комбинированным покрытием ПУ + ПТФЭ в соотношении 1:1, которое позволяет более чем в 2 раза снизить коэффициент трения, тогда как покрытие из ПТФЭ снижает коэффициент трения незначительно, а ПУ даже его повышает. При испытаниях по схеме ролик – вкладыш получены аналогичные результаты.

Исходя из экспериментальных данных, можно предположить следующее объяснение установленных эффектов. При нанесении на поверхность резины многослойного покрытия из ПУ и ПТФЭ, особенно при их одновременном осаждении, данные полимеры, дополняя друг друга, оказывают значительное влияние на процесс изнашивания резино-металлической пары. Так, политетрафторэтилен благодаря своим триботехническим свойствам (низкий коэффициент трения, возможность изнашиваться слоями) заметно снижает коэффициент трения пары. Однако без полиуретана данное покрытие недолговечно, поскольку оно очень быстро уходит из зоны трения благодаря своей природе, о чем свидетельствует значительная срабатываемость покрытия из ПТФЭ. Полиуретан, напротив, не оказывая сколько-нибудь заметного влияния на износ и момент трения пары сталь – резина, выполняет функцию упрочнения комбинированного покрытия.

С целью повышения барьерных свойств композиционного полимерного слоя был разработан способ плазменной обработки продуктов электронно-лучевого диспергирования (ПЭЛД) в процессе осаждения покрытия. Плазменная обработка ПЭЛД смеси порошков ПУ и ПТФЭ приводит к формированию композиционных покрытий с высоким уровнем межкомпонентного взаимодействия. Нанесение композиционных покрытий ПУ–ПТФЭ, сформированных плазменно активированными ПЭЛД, позволяет снизить значения коэффициентов трения РТИ по сравнению с немодифицированными при всех схемах испытания более, чем в 3 раза. Испытания резин 7ИРП-1068, модифицированных данными покрытиями, на набухание в среде масла СЖР-1 показали увеличение маслостойкости РТИ в 6,5 раз.

УДК 620.179.11

**ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ
ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА****В. С. Плешанов, А. А. Напрюшкин, А. И. Солодушкин,
С. В. Сапожников, В. В. Кибиткин***Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Томск, Россия*

В результате воздействия повторных механических нагрузок в материале происходит накопление усталостных повреждений, изменение рельефа поверхности и его необратимое деформирование. Эти процессы наиболее активно протекают в области концентраторов напряжений, где обычно образуется усталостная трещина.

Для определения данных областей и оценки степени накопления повреждений мезомасштабного уровня предлагается использовать фрактальную размерность D_f . В работе предложен новый алгоритм ее расчета как характеристики накопленной деформации. Ее значения вычисляются по формуле $D_f = \ln S / \ln N$, где S – площадь оптической «поверхности» регистрируемого участка изображения размером $N \times N$. Под «поверхностью» понимается суммарная площадь рельефа изображения, образованного распределением градаций серого, максимальное количество которых равно N . Этот критерий однозначно связан со степенью накопленных повреждений и циклическим отношением.

Применение метода оптического потока позволяет на базе современных технических средств измерить (рассчитать) скорости необратимых смещений элементарных участков поверхности нагруженного твердого тела в реальном масштабе времени *in situ*. Метод основан на компьютерной обработке последовательности оптических изображений поверхности, полученных в процессе механического воздействия.

Измерительный комплекс, разработанный в ИФПМ СО РАН (г. Томск), включает в себя механизм сканирования, осветитель, оптический микроскоп, цифровую видеокамеру, интерфейс и компьютер для обработки цифровых изображений. Он дает возможность сравнительно просто измерять распределение амплитуд смещений элементарных участков поверхности в широком диапазоне (0,2–15 мкм) с высокой разрешающей способностью (плотность векторов смещений 10^3 – 10^5 мм⁻²) и приемлемой погрешностью, включая сшивку смежных полей смещений. Погрешность зависит от применяемого оптического увеличения и условий измерения. Выбор параметров аппаратуры должен быть адекватен измеряемому полю скоростей.

При наличии в конструкции усталостных трещин ее дальнейшая эксплуатация в условиях живучести может быть возможна еще в течение значительного времени. В этом случае важно вовремя определить состояние предразрушения, чтобы принять необходимые меры. Характер полей векторов смещений, их количественные характеристики и пространственное распределение значений фрактальной размерности позволяют исследовать механизмы разрушения материалов, определять эволюцию деформационной структуры, стадию усталости и оценивать остаточный ресурс нагруженной конструкции (изделия).

Предложенные алгоритмы и программное обеспечение позволяют измерять векторные поля и значения фрактальной размерности поверхности вне зависимости от типа материала и конкретных механизмов накопления повреждений.

УДК 532.528

**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКОГО УПРУГОГО СЛОЯ
ПРИ УДАРЕ ЖЕСТКИМ ТЕЛОМ О ЕГО ПОВЕРХНОСТЬ****В. Д. Кубенко, Т. А. Марченко***Институт механики Национальной академии наук Украины, г. Киев***Э. И. Старовойтов***Учреждение образования «Белорусский государственный
университет транспорта», г. Гомель*

Современный подход к исследованию деформирования упругих тел при ударе жестким индентором состоит в формулировке нестационарной смешанной начально-краевой задачи теории упругости с неизвестной изменяющейся во времени границей. Последняя определяется в ходе решения задачи. Постановка задачи включает уравнения упругого деформирования ударяемого тела; уравнение движения ударника; соотношение, представляющее силу ударного взаимодействия упругого тела и ударника как функцию неизвестной области контакта; уравнение, связывающее величину области контакта с перемещением (прониканием) ударника; соответствующие граничные и начальные условия. Задача является связанной с нечетким заданием входных параметров, что предопределяет известные трудности ее решения. Подавляющее большинство выполненных исследований посвящено задаче об ударе твердым или упругим телом о поверхность упругого полупространства. Исследования взаимодействия тупого ударника с упругим телом конечных размеров представлены в научной литературе в значительно меньшей степени. Постановка и решение такой задачи представляются актуальными и в практическом аспекте, в частности, в связи с широким применением многослойных материалов в современном самолето- и судостроении. При ударе по слоистому элементу конструкции в его теле возникают неоднократно отраженные от границ слоев волны, суперпозиция которых может привести к возникновению неординарного напряженно-деформированного состояния.

В связи с этим в данной публикации формулируется задача об ударе жестким телом о поверхность упругого слоя с целью исследовать влияние многократных отражений волн на деформирование слоя (плиты). Рассматривается плоская задача, то есть фактически предполагается, что ударяющее тело является длинным цилиндром, взаимодействующим со слоем своей боковой поверхностью. Вследствие конечности толщины слоя соответствующие граничные условия задаются на обеих его поверхностях, что вводит в учет отраженные упругие волны. На лицевой поверхности слоя задаются смешанные граничные условия: перемещение индентора и слоя в области их контакта равно; вне области контакта нормальное напряжение равно нулю; касательное напряжение всюду отсутствует. Удовлетворение граничным условиям приводит в конечном счете к разрешающей бесконечной системе интегральных уравнений Вольтерра второго рода относительно коэффициентов разложений Фурье для напряжения или скорости. Указанная система должна быть решена совместно с уравнением движения тела и уравнением, определяющим границу области контакта. Предлагается численное решение указанной системы посредством ее усечения и применения соответствующего метода квадратур. Для раннего этапа взаимодействия решение получено с применением интегральных преобразований Лапласа и Фурье; переход из пространства изображений в пространство оригиналов осуществляется путем совместного обращения интегральных преобразований. В результате получено точное аналитическое выражение для нормального напряжения в лобовой точке

(точке первоначального контакта) на поверхности и в глубине слоя. Выполненные вычисления иллюстрируют характер развития напряженного состояния в зависимости от времени, количества учтенных отраженных волн, глубины, толщины и упругих параметров слоя.

УДК 621.643.053

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ В ПРИБОРЕ «ИМПУЛЬС-2М»

А. В. Рабцевич, О. В. Мацулевич

*Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск*

В последнее время во многих отраслях промышленности широкое применение получили твердомеры динамического действия. Их работа основана на ударном методе приложения нагрузки и определении твердости по параметрам внедрения индентора в материал. Традиционные динамические твердомеры регистрируют только скорость отскока и рассчитывают результат по калибровочным зависимостям между этим параметром (или коэффициентом восстановления скорости) и твердостью. Подобный метод измерения не требует сложных технических или программных средств, однако, скорость отскока в значительной мере подвержена влиянию таких мешающих факторов, как недостаточная масса или локальная жесткость испытываемого изделия, а также шероховатость контролируемой поверхности. Так, при увеличении шероховатости от Ra 1,6–2,5 (рекомендуемые значения) до Ra 4–5 погрешность может составлять 30–40 НВ, а при контроле изделий толщиной до 4 мм погрешность может достигать 60 НВ даже при относительно небольшой номинальной твердости (100–200 НВ). Минимальная допустимая толщина контролируемого изделия определяется энергией удара и составляет не менее 10–12 мм при требованиях к массе объекта не менее 2,5 кг.

Разработанный в Институте прикладной физики НАН Беларуси портативный компьютеризированный прибор «Импульс-2М» позволяет регистрировать весь процесс упругопластического вдавливания, определяя при этом предупредную скорость индентора, время активного этапа удара, максимальное контактное усилие, максимальную глубину внедрения. Использование перечисленных параметров позволяет расширить диапазон применимости прибора. Например, контроль величины предупредной скорости позволяет корректировать отклонения результатов измерений, связанные с произвольным положением исследуемых поверхностей в пространстве. Данная операция выполняется в автоматическом режиме и не требует каких-либо дополнительных действий пользователя. Для исключения влияния шероховатости нами предложено при каждом измерении кроме коэффициента восстановления скорости определять время активного этапа удара. Сравнение полученных результатов с калибровочными значениями позволяет оценить влияние шероховатости и, при необходимости, произвести корректировку измеренной твердости. Кроме того, нами предложен метод уменьшения влияния недостаточной жесткости изделия, заключающийся в расчете динамической твердости Мейера по принятой модели взаимодействия жесткого индентора с металлом и определении статической твердости по калибровочной кривой. Полученные таким образом значения твердости менее чувствительны к податливости объекта контроля, чем традиционное отношение скоростей.

Прибор «Импульс-2М» предназначен для неразрушающего определения твердости металлических изделий и предела прочности изделий из сталей перлитного класса и может использоваться при входном, выходном, промежуточном контроле продукции машиностроительных предприятий и для неразрушающего контроля состояния действующих конструкций и оборудования. Прибор прошел государственные испытания в 2005 г., занесен в Государственный реестр средств измерений (сертификат № 3380) и допущен к использованию в Республике Беларусь.

УДК 631.3.072

КУРСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ МТА НА БАЗЕ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА ПРИ РАБОТЕ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТЯГОВОЙ НАГРУЗКОЙ

Г. С. Горин, А. В. Захаров

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

Для аналитического исследования курсовой устойчивости пахотного МТА на базе трактора «Беларус» с заблокированным межосевым и межколесным приводом при работе с несимметричной тяговой нагрузкой важно оценить уровень отклоняющих моментов, действующих на трактор и плечо действия результирующей тягового сопротивления плуга $R_{рез}$ относительно полюса трения. Полюс трения – это точка, при повороте трактора вокруг которой момент сил трения – минимальный. Из анализа проспектов и патентов фирм «Lemken» и «John Deere» следует, что такой точкой может быть либо центр тяжести трактора, либо центр заднего ведущего моста.

Согласно вариационному принципу действия Гаусса из всех кинематически возможных, т. е. допускаемых связями, истинным будет то движение, для которого принуждение является в каждый момент наименьшим. Родоначальником белорусской школы исследователей механики трения является Ф. А. Опейко. Особенность использования названной теории обусловлена тем, что ходовые системы сельскохозяйственных тракторов обладают существенной анизотропией – в плоскости качения колес коэффициенты трения существенно меньше, чем в любых других плоскостях. В результате проведенных расчетов установлено, что определяющим колесом является правое заднее, идущее в борозде и имеющее лучшие условия по сцеплению с почвой. На него приходится наибольшая нормальная нагрузка N_3 , она развивает максимальную касательную $P_{к3}$ силу тяги и соответственно толкающую реакцию $X_{к3}$. Поэтому выдвинута рабочая гипотеза, что полюс трения ходовой системы расположен в центре пятна контакта последнего. Как следует из построенных плоской расчетной схемы и годографов анизотропного качения каждого из колес ходовой системы, при другом расположении полюса трения в центре тяжести трактора или заднего моста возникает отклоняющий момент $M_{откл}$, способствующий стягиванию трактора на вспаханное поле. А это не соответствует действительности. Исходя из этого были получены: величина отклоняющих моментов, действующих на трактор и плечо действия силы $R_{рез}$ относительно полюса трения, величины стабилизирующих моментов, возможное перемещение колес ходовой системы (под углом 8–12°) к направлению движения. Это значение примерно равно значению углов закрутки боковины и бокового увода данного типа шин.

Получены выражения для сдвигов контактов остальных колес ($i = 1, 2$ и 4), действительных скоростей движения колес по бортам, результирующих касательных сил тяги для каждого из колес, радиусов поворота центров вращения соответственно переднего и заднего мостов, координат центров вращения переднего и заднего мостов, угловой скорости поворота ходовой системы вокруг вертикальной оси, кинематических связей для колес правого и левого бортов. В результате проведенных аналитических исследований установлено, что стабилизация пахотного МТА путем блокировки межосевого и межколесного приводов и подворота передних колес энергетически не выгодно. Европейские фирмы «Rabe», «Kverneland», «Gregoire Besson», «Lemken» оборудуют пахотные агрегаты устройствами стабилизации: управляемые опорные тележки, самонастраивающиеся по направлению линии тяги элементы навески плуга. Все эти устройства имеют электрогидравлические системы управления и способствуют снижению расхода топлива на 15 %.

УДК 772.932.45

**ЛАЗЕРНО-ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
С ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Б. Н. Тюшкевич, В. А. Окушко

*Институт электроники Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск*

Постановка экспериментальных исследований была продиктована рядом актуальных задач, связанных с применением голографической интерферометрии для исследования и неразрушающего контроля крупногабаритных деталей и узлов авиационной техники, машиностроения, станкостроения. Одной из основных задач исследования динамических характеристик деталей и узлов является получение полной информации о полях вибросмещений, деформаций и напряжений.

Использование в качестве источников когерентного излучения для записи голографических интерферограмм импульсных твердотельных лазеров с высокими энергетическими параметрами позволяет регистрировать крупногабаритные объекты (детали и узлы в сборе). Сокращение экспозиций при этом до 10^{-9} – 10^{-8} с обеспечивает исследование быстропротекающих процессов, причем как циклического характера, так и аperiодических, движущихся объектов, в том числе вращающихся. Быстродействующие активные модуляторы лазерного излучения обеспечивают синхронизацию экспозиций с той или иной фазой исследуемых процессов.

Разработаны специализированные твердотельные лазеры с активными затворами, работающие в режимах формирования одного, двух и серии гигантских импульсов и импульсов наносекундной длительности с заданными частотой, пространственной структурой и поляризацией излучения и временными интервалами между импульсами, перестраиваемыми в широких пределах. На их основе созданы импульсные голографические интерферометры, обеспечивающие голографическую запись объектов на галогенидосеребряных и фототермопластических материалах методом двух и более экспозиций, нагружаемых как статически, так и в динамике; регистрацию контурных карт рельефа поверхности голографическим методом.

Разработаны двухэкспозиционные голографические интерферометры, обеспечившие: голографирование диффузно отражающих объектов размером до 3 м^2 при

регистрации на галогенидосеребряных материалах и запись на фототермопластических средах голографических интерферограмм изделий диаметром до 1,5 м; регистрацию голографических интерферограмм, содержащих информацию о собственных частотах и формах колебаний крупногабаритных изделий и иллюстрирующих изменение ориентации форм колебаний и наличие бегущей волны; голографическую регистрацию вращающихся объектов, позволившую сравнить резонансные формы колебаний при возбуждении изделий в стационарном состоянии и в процессе вращения; реверсивную регистрацию высококонтрастных двухэкспозиционных, многоэкспозиционных и стробоскопических голографических интерферограмм.

Изготовлены опытные образцы двухимпульсного специализированного рубинового лазера и системы реверсивной регистрации голографических интерферограмм на фототермопластических материалах и с их помощью проведены исследования вибрационных характеристик и напряженно-деформированного состояния крупногабаритных изделий авиационной, станкостроительной, космической, автотранспортной техники.

УДК 621.793: 621.98

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ВТУЛОК

Н. И. Стрикель, М. И. Лискович

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

В ГГТУ им. П. О. Сухого разработан способ изготовления цельных композиционных втулок подшипников скольжения совместной вытяжкой металлопорошкового и металлического слоев¹. По сравнению с втулками, которые изготавливаются нанесением антифрикционного покрытия на металлическую ленту с последующей отрезкой, гибкой и калибровкой, цельнотянутые втулки не содержат стыка согнутых краев полосы, что создает более благоприятные условия для работы подшипникового узла. Для сравнительной оценки антифрикционных характеристик согнутых и изготовленных вытяжкой композиционных втулок, а также для исследования поведения цельнотянутых втулок при различных режимах трения разработан, изготовлен и испытан стенд для испытания антифрикционных втулок на базе токарно-винторезного станка повышенной точности модели 16УОЗП, позволяющего изменять скорость вращения от 80 до 4000 об/мин.



Стенд для испытания антифрикционных покрытий

¹ Пат. 3933 РБ. Способ изготовления полого композиционного изделия / Бобарикин Ю. Л., Стрикель Н. И., Лискович М. И. ; заявл. 25.05.98 ; опубл. 30.06.2001; Бюл. № 2 (29).

Испытания могут быть выполнены по двум схемам: 1) втулка вращается – ось неподвижна; 2) ось вращается – втулка неподвижна. Изменение радиального усилия, действующего на подшипник в диапазоне от 50 до 560 Н, достигается сменой груза, устанавливаемого на рычаге.

По сравнению с другими способами испытания подшипников скольжения на стенде отсутствует поворот измерительного устройства под действием сил трения и неизбежные при этом трудно учитываемые дополнительные потери. Регистрация радиального усилия, действующего на подшипник, момента трения и величины коэффициента трения производится с помощью тензометрических датчиков тензометрического усилителя УТЧ-1 и самопишущего прибора НЗ27-3. Для автоматического управления измерениями, регистрацией и обработкой результатов используется аналого-цифровой преобразователь, программируемый микроконтроллер МКП-1 и персональный компьютер с процессором Celeron 1,7 МГц и 256 Мб оперативной памяти.

Включение лентопротяжного механизма самопишущего прибора производится периодически по заданной программе испытаний.

В стенде предусмотрена возможность регистрации величины зазора между осью и втулкой, температуры нагрева поверхности скольжения, амплитуды вибрации подшипника, логарифмического уровня виброскорости, уровни шума в октавных полосах частот.

Окружную скорость V на шейке вала подшипника можно изменять в диапазоне от 0,25 м/с до 4 м/с, а давления в подшипнике от $p_{\min} = 0,625$ МПа до $p_{\max} = 9$ МПа. При необходимости максимальное давление может быть увеличено при соответствующем уменьшении ширины втулки.

Таким образом, разработанный стенд позволяет в автоматизированном режиме производить испытания антифрикционных втулок в широком диапазоне изменения оборотов, окружных скоростей, радиального усилия и давления в подшипнике.

УДК 539.375

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ С УЧЕТОМ ИЗНОСА

В. В. Комраков

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

Анализ и классификация отказов изделий машиностроения показали, что основной причиной выхода их из строя в условиях эксплуатации является не поломка детали, а износ и нестабильность триботехнических характеристик сопряжений. Эти факторы приводят к постепенной утрате работоспособности вследствие разрегулирования кинематических цепей, изменения прочности и жесткости отдельных звеньев и даже полного их истирания. Для перехода от расчета изнашивания материалов к задачам конструкционной износостойкости решающее значение, помимо физического аспекта, определяющего элементарные закономерности процесса фрикционного разрушения поверхностей, приобретают контактные задачи механики деформируемого твердого тела.

При математической постановке контактных задач учет изнашивания позволяет определить кинетику изменения формы контактирующих поверхностей, распределения давления на площади контакта, взаимного положения деталей, а также установить продолжительность стадии приработки, когда происходит интенсивное изме-

нение макрогеометрии контакта, т. е. ответить на ряд основных вопросов, возникающих при расчете на износ деталей машин.

Рассматривается задача о контакте двух упругих тел с учетом износа контактирующих поверхностей. Для случая эллиптической площадки контакта задача сведена к интегральному уравнению первого рода. Получено аналитическое решение этого уравнения для случая эллиптической площадки контакта. Рассмотрено влияние износа на геометрические параметры площадки контакта и распределение контактных напряжений.

В связи с тем, что получить аналитическое решение рассматриваемой задачи для площадки контакта более сложной формы весьма затруднительно, а численные методы сложны и трудоемки, предлагается новый достаточно простой и надежный экспериментальный метод решения задачи с помощью электрического моделирования.

В основу этого метода положена аналогия интегральных уравнений контактной задачи и задачи электростатики. При экспериментальном решении задачи применяется квазистационарное электрическое поле. Разработано и создано модернизированное электро моделирующее устройство для решения рассматриваемых задач. Проведенная модернизация позволила существенно увеличить точность получаемых результатов эксперимента и автоматизировать процесс решения пространственных контактных задач.

Предложена методика решения пространственных контактных задач с учетом износа с помощью модернизированного электро моделирующего устройства. Разработан способ определения формы и размеров площадки контакта при контакте двух упругих тел.

Предлагаемый метод позволяет решать пространственные контактные задачи с учетом износа для случаев, когда площадки контакта имеют произвольную форму. При этом процесс экспериментального решения этих задач не усложняется.

Метод позволяет определить влияние износа на форму и размеры площадки контакта и выбрать оптимальную геометрию контактирующих поверхностей перед зацеплением еще на стадии проектирования. Это позволит отказаться от изготовления образцов и проведения натуральных испытаний при выборе исходных контуров, и тем самым получить значительный экономический эффект.

УДК 621.941.16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ЗАЖИМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. В. Литвин

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

С учетом увеличения удельного веса мелкосерийного и серийного производств, для успешного решения задач, стоящих перед машиностроением, необходимо дальнейшее повышение гибкости, расширение технологических возможностей токарных автоматов, токарных модулей, в том числе встраиваемых в ГПС, за счет совершенствования их узлов, механизмов и оснастки.

Одним из недостатков токарных автоматов с ЧПУ является узкий диапазон диаметров закрепляемых заготовок без переналадки. Это существенно ограничивает технологические возможности этих станков, работающих в составе токарных модулей или входящих в ГПС, приводит к дополнительным потерям времени на переналадку или смену зажимных элементов (ЗЭ). Анализ прежде проведенных исследова-

ний по цанговым зажимным механизмам и патронам, а также анализ известных способов и устройств автоматического манипулирования ЗЭ и зажимными цангами показал, что изобретений и технических решений данной проблемы немало, но внедрение в промышленности и станкостроении они не приобрели.

Точность обработки деталей на станке является результатом действия всех компонентов технологической системы (инструмента, заготовки, устройств смены ЗЭ и т. д.). Поэтому нужно исследовать те параметры станка, которые непосредственно ответственные за точность установки и смены ЗЭ и являются существенными для технологической системы.

Схема образования погрешности с учетом смены ЗЭ состоит из таких основных этапов: 1) погрешности переноса и установление ЗЭ (цанги) в шпиндель, которая характеризуется углом смещения оси цанги Δ_{Π} ; 2) погрешности установки детали в ЗЭ (в цанге) D_B ; 3) погрешности закрепления заготовки в цанге $\Delta_{\text{закр}}$; 4) погрешности обработки $\Delta_{\text{ОБР}}$:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\Pi} + D_B + \Delta_{\text{закр}} + \Delta_{\text{ОБР}}.$$

Точность процесса автоматической установки зажимных элементов (ЗЭ) состоит из суммы погрешностей: системы управления Δ_c , приводов Δ_{Π} и механической системы Δ_m . Эти погрешности можно рассматривать как сумму линейных и угловых погрешностей. Разделяя все погрешности на погрешности движения и погрешности механической системы и учитывая особенности настройки, можно выделить некомпенсированную часть этих погрешностей. Анализ всех элементарных погрешностей позволяет составить баланс точности устройств автоматической смены ЗЭ с тем, чтобы технологическая точность была:

$$\Delta_T \leq \Delta_{NC} + \Delta_{PC} + \Delta_{PD}.$$

Целью динамического расчета является определение величины и оценка влияния основных конструктивных факторов, влияющих на величину динамической составляющей погрешности перемещения устройства с объектом манипулирования – кулачками.

Выполнен расчет движения захватного устройства УАСЗЭ в процессе перемещения ЗЭ с учетом возмущающих воздействий, демпфирования и приведенных жесткостей системы с использованием системы MathCAD на ПЭВМ.

УДК 621.91.01:543.1

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НЕЖЕСТКОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКОЙ

А. В. Шевченко

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

Специальная инструментальная оснастка с упругими элементами, которая может использоваться при токарной обработке для микрорегулирования положения резца, дробления стружки в процессе резания и других целей, по своим конструктивным особенностям имеет меньшую жесткость, чем базовая оснастка токарных станков. Особенностью токарной обработки такой инструментальной оснасткой яв-

ляется легкость возникновения вибраций при резании, которые снижают точность, качество и производительность обработки деталей. В связи с этим борьба с интенсивными вибрациями при токарной обработке нежесткой инструментальной оснасткой является особенно актуальной.

К потере устойчивости процесса резания приводит увеличение амплитуд автоколебаний нежестких резцедержателей при превышении соответствующего уровня режимов резания, которые рекомендованы для этой оснастки. Основной причиной возникновения автоколебаний при резании такими резцедержателями является изменение площади срезаемого слоя и силы резания вследствие относительного колебательного движения инструмента и обрабатываемой детали по замкнутой траектории, обусловленной наличием координатной связи между процессом резания и движением по различным координатам упругой системы станка.

Уменьшить энергию самовозбуждения автоколебаний и обеспечить повышение устойчивости процесса резания нежесткой инструментальной оснасткой можно путем изменения параметров упругой системы станка (например, изменением ориентации главных осей жесткости станка относительно направления действия силы резания) и созданием высокого демпфирования при помощи специальной инструментальной оснастки.

Если в конструкции базового станка при определенных условиях обработки возникает потеря устойчивости вследствие «отрицательной» жесткости, то есть возможность изменить ее на «положительную» путем изменения положения центра жесткости упругой системы суппортной группы. Использование резцедержателей с ориентированными определенным образом упругими элементами позволяет обеспечить уменьшение энергии самовозбуждения колебаний при резании за счет минимизации влияния координатной связи на устойчивость упругой системы суппортной группы.

Таким образом, обеспечение устойчивости точения нежесткой инструментальной оснасткой с упругими элементами возможно не только за счет повышения жесткости самих резцедержателей, но и за счет правильной ориентации главных осей жесткости упругой системы суппортной группы.

На кафедре конструирования станков и машин Киевского политехнического института разработаны методики расчета и проектирования резцедержателей с упругими элементами для токарной обработки. На основании этих методик создан ряд эффективных конструкций резцедержателей для токарно-револьверных станков, обеспечивающих микрорегулировку положения резца, возможность дробления стружки в процессе резания, а также повышение устойчивости процесса резания при обработке нежесткой инструментальной оснасткой.

УДК 621.91.01

ГИБКИЙ ВАЛ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. Новосёлов

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

В технике в целом ряде машин между ведущими (двигатели) и ведомыми (рабочие механизмы) звеньями устанавливаются гибкие элементы для плавного разгона, гашения вибраций, снижения воздействия на механизм ударных рабочих нагрузок и др. подобных целей, в том числе и для обеспечения устойчивого функциониро-

вания машины при значительной территориальной разобщённости его ведущих и ведомых звеньев с возможным изменением во времени линейного и углового их взаимного расположения. К ним относятся, например, резиновые амортизаторы, пружины, рессоры, карданные механизмы, сильфонные муфты, гибкие витые проволочные валы, автомобильное сцепление. Каждый из перечисленных гибких элементов имеет свои преимущества и недостатки, однако есть области техники, в которых применение ни одного из них не является эффективным. Например, гибкие проволочные валы обладают возможностью максимального разобщения ведущих и ведомых звеньев, однако они имеют малую крутильную жесткость и имеют в связи с этим весьма ограниченное применение.

Автором был изобретён [1] гибкий вал новой конструкции, представляющий собой сварную композицию штампованных пластинчатых круглых дисков из высокопрочной пружинной стали. Каждый диск гибкого вала имеет центральное технологическое отверстие и на диаметре – 3, 4 и более (по необходимости) равномерно расположенных конструктивных отверстий. Перемычки между внешним контуром диска и конструктивными отверстиями имеют радиальные просечки, превращающие внешнюю часть диска как-бы в лепестки (по числу отверстий), которые путём пластического деформирования в специальном гибочном штампе отгибаются от исходной плоскости диска на небольшой угол для последующего соединения радиальных кромок с аналогичными радиальными кромками лепестков соседних дисков методом сварки. Таким образом диски приобретают форму крыльчатки. Затем лепестки последних крайних дисков отгибаются от плоскости дисков под прямым углом, вставляются в радиальные пазы двух ступиц (ведущей и ведомой) образуемого вала и закрепляются в них методом сварки.

В конечном итоге гибкий вал представляет собой гармошкообразную конструкцию в виде сплошных гибких пластинчатых спиралей, количество которых равно числу просверленных в дисках отверстий, и внутреннюю условную сердцевину в виде совокупности средних (монолитных) частей всех дисков. Сплошные гибкие пластинчатые спирали оказываются связанными по всей длине вала с внутренней условной его сердцевиной большим количеством пластинчатых радиальных спиц, образуемых перемычками между отверстиями в дисках. То есть предлагаемый гибкий вал обладает высокой радиальной (изгибной) податливостью (гибкостью) при одновременной высокой его крутильной жёсткости. Такой вал способен передавать большие крутящие моменты под любым, в том числе и изменяющимся в широких пределах (вплоть до 90^0), углом между ведущей и ведомой цапфами. Эта нагрузка передаётся спиралями лепестков и радиальными спицами перемычек между отверстиями в дисках.

Литература

1. А. с. 621906 СССР, М. Кл.² F16C1/02. Гибкий вал / Ю. А. Новоселов; заявл. 01.02.77; опубл. 30.08.78, Бюл. № 32.

СЕКЦИЯ Б. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.762

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ КАПИЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР КОНТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

А. В. Агеенко, В. В. Мазюк

*Государственное научное учреждение «Институт
порошковой металлургии», г. Минск, Беларусь*

Высокая испарительная способность пористых порошковых материалов обусловила их применение в качестве капиллярных структур тепловых труб – уникальных по совокупности эксплуатационных свойств и диапазону возможностей устройств, составляющих основу систем обеспечения тепловых режимов объектов современных электротехнической, электронной и космической областей техники. В традиционных тепловых трубах КС представляет собой тонкий (толщиной порядка 1 мм) слой пористого материала, спеченного из металлического порошка, расположенный на внутренней поверхности корпуса тепловой трубы диаметром порядка 1 см. В тепловых трубах нового поколения общепринятый способ изготовления и спекания КС в виде втулки нужных размеров, нарезания на ней канавок и запрессовывания ее в корпус испарителя ограничивает мощность тепловой трубы, поскольку затруднительно запрессовать спеченную высокопористую втулку значительных размеров в корпус, не разрушив ее. Поэтому целесообразнее спекать КС непосредственно в корпусе испарителя, обеспечивая надежный тепловой контакт между КС и корпусом, а пароотводные каналы выполнять внутри КС, оставляя всю нагреваемую поверхность корпуса покрытой капиллярно-пористым материалом. Такая конструкция КС позволяет в несколько раз повысить предельный тепловой поток в испарителе.

Однако при спекании порошковой КС большого наружного диаметра непосредственно в корпусе испарителя возникает проблема обеспечения надежного механического и термического контакта КС с корпусом, обусловленная усадкой порошка в процессе спекания. Особенно остро эта проблема встает при изготовлении КС с мелкими (порядка несколько микрон) порами. Поэтому важной практической задачей является разработка способов получения мелкопористых КС на внутренней поверхности труб при обеспечении надежного (лучше – металлического) контакта между КС и поверхностью трубы.

Перспективным для решения указанной проблемы способом является использование жидкофазного спекания сформованной непосредственно на внутренней поверхности трубы КС из двухкомпонентной смеси мелкодисперсных порошков. Особенность этого процесса состоит в том, что при определенных режимах спекания образование жидкой фазы сопровождается не усадкой, а объемным ростом спекаемых порошковых покрытий. Это относится к системам с большой однополярной растворимостью в твердой фазе компонента, образующего расплав.

В результате выполненных исследований процесса жидкофазного спекания двухкомпонентных порошковых материалов на основе никеля отработаны технологические режимы получения капиллярных структур контурных тепловых труб. Изготовлены и испытаны экспериментальные образцы испарителей контурных тепло-

вых труб с капиллярной структурой на основе никеля. Результаты испытаний свидетельствуют о том, что разработанная технология получения капиллярных структур на внутренней поверхности труб может быть успешно использована для производства испарителей высокоэффективных контурных тепловых труб.

УДК 621.891

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЗОВАНИЯ СТАБИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ В ДЕТАЛЯХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

В. М. Сканцев

*Брянский государственный
технический университет, Россия*

В течении многих лет теоретические и практические исследования в области трения, износа и резания металлов были направлены на установление формальных и эмпирических связей между различными параметрами (шероховатостью, динамикой и характером износа, свойствами материалов, видом нагружения, характером контакта, типом смазки и т. п.).

В теоретических работах преобладали подходы, ограниченные как правило, рамками одной области знаний. Наибольшее распространение в трибологии получили механистические модели, где рассматривались упрощенные виды взаимодействия поверхностей трения без учета энергетики процесса и структурных изменений материала.

Термодинамическая природа трения, как диссипативного процесса не нашла широкого распространения, т. к. в ней энергетические и термодинамические критерии не связывались с определяющим механизмом изнашивания и рассматривались только в общем виде.

Фундаментальной основой, способной гармонически связать все достижения трибологии с привлечением материаловедческих наук, может стать энтропийно-энергетическая или структурно-энергетическая теория, открывающая возможности количественного описания трибосистем, т. к. энтропия является количественной мерой нарушения структуры материала. Данная теория базируется на современных достижениях материаловедения и физики твердого тела в области природы структурной самоорганизации материалов и учитывает конкретные особенности структурно-энергетической приспособляемости материалов при трении. С позиций энтропийно-энергетической теории трение является процессом преобразования (диссипации) внешних видов энергии в энергию внутреннюю, а закономерности этого преобразования определяются структурным состоянием материалов системы трения и его структурной самоорганизацией.

Принимая тот факт, что любая пара трения является открытой термодинамической системой (ОТС), в которой механическая компонента только часть ОТС, то из этого положения должно следовать:

1. Всякая ОТС, согласно термодинамике, должна стремиться к устойчивому равновесию, что в реальных условиях достаточно сложно. Фактически любая система трения находится в состоянии квазиравновесия, что соответствует подвижному равновесию в заданных рамках процесса.

2. В ОТС циркулируют потоки вещества и энергии, взаимодействие которых направлены на достижение равновесного состояния, следовательно, система трения в этом равновесном или квазиравновесном состоянии обладает и минимальной износостойкостью.

3. В материалах трущихся тел под воздействием внешних нагрузок, потоков вещества и энергии протекают термодинамические процессы различного характера, направленные на его структурную самоорганизацию.

4. Чем интенсивнее износ, тем дальше система трения находится от равновесного термодинамического состояния. В этом случае структурные компоненты материала не в состоянии рассеивать энергию трения. В результате накопления энергии в процессе трения система сбрасывает ее излишек за счет разрушения структуры, т.е. в виде износа.

Из этого общего анализа можно сделать следующий вывод. Создавать универсальный износостойкий материала нецелесообразно. Материал должен создаваться под действующие условия работы трибосистемы, которые определяют протекание процессов, формирующих и стимулирующих образование в материале соответствующих износостойких структур.

УДК 669:658.562; 621.165

МИКРОСТРУКТУРА СПЛАВА КАК БАЗОВЫЙ ПАРАМЕТР КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ТУРБОМАШИН

С. В. Давыдов, В. Г. Кешенкова

*Брянский государственный
технический университет, Россия*

При решении задачи продления ресурса рабочих лопаток газотурбинных установок следует исходить из того, что в процессе их эксплуатации накапливаются статические, усталостные, термоусталостные и коррозионные повреждения. Их накопление может привести к интенсификации повреждений каждого вида.

Возможность эксплуатации лопаток сверх ресурса, регламентированного ТУ, определяется следующими факторами:

- состоянием основного металла или стабильностью микроструктуры сплава, которая обеспечивает, в первую очередь, его прочностные и пластические характеристики;
- конструктивной усталостной прочностью лопаток;
- напряженно-деформированным состоянием лопаток.

Между параметрами микроструктурного состояния лопаточных материалов после определенной температурно-временной наработки и параметрами механических свойств, характеризующими их остаточный ресурс, существуют определенные зависимости, которые следует учитывать как при подборе конструкционных материалов на этапах проектирования и ремонта, так и при расчетном анализе повреждений и оценке остаточного ресурса турбомашин.

Для обеспечения ресурса и надежности лопаточного аппарата одновременно необходимо контролировать и корректировать напряженно-деформированное состояние, степень нагрева, усталостные и резонансные характеристики, состояние микроструктуры материала и т. д. Эти характеристики имеют различную физическую природу и находятся в компетенции различных служб предприятия. Кроме этого, необходимо обеспечить одновременно управляемость и наблюдаемость поведения в производстве такой сложной системы, какой является процесс создания лопаточного аппарата турбомашин и, в первую очередь, подбор сплава и его термообработка для создания оптимальной микроструктуры.

Традиционные расчеты запасов прочности с использованием характеристик материала в исходном состоянии, по сути, являются лишь первым приближением при оценке надежности деталей, находящихся в условиях длительной эксплуатации.

Обобщенная система квалиметрического анализа параметров лопаточного аппарата и его характеристик (химический состав материала, механические свойства, тепловое и напряженно-деформированное состояние и т. д.), позволяет процесс многокритериальной и многопараметрической оптимизации лопаточного состояния турбомашин сделать управляемым и наблюдаемым. Одной из таких систем является построение квалиметрических шкал качества для объектов различной физической природы и применение искусственных нейронных систем. Сформированные в рамках этого направления многослойные сетевые модели позволяют анализировать качество микроструктуры жаропрочного сплава и ее влияние на прочностные и эксплуатационные параметры лопаточного аппарата турбин.

Предлагаемая методика может быть применена для построения квалиметрических шкал: «микроструктура – химический состав» (оптимизация химического состава сплава); «химический состав – конструкторская прочность» (оптимизация надежности работы); «химический состав – термостойкость» (для повышения рабочей температуры лопатки) и т. д.

УДК 621.762

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ КОЛЕЦ ПАРЫ ТРЕНИЯ ТОРЦОВОГО УПЛОТНЕНИЯ

М. В. Голуб, В. М. Голуб

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

Состояние рабочих поверхностей колец пар трения представляет собой один из главных показателей, определяющих эксплуатационные характеристики торцового уплотнения, т. к. отказ уплотнения обычно связан с износом и нарушением геометрии трущихся поверхностей, приводящих к потере герметичности. Правильный выбор материалов колец и соответствующей технологии обработки рабочих поверхностей контактной пары трения обеспечивают надежную работу уплотнения на длительный период времени, даже в условиях относительно плохой смазочной способности уплотняемой среды.

Торцовое уплотнение в процессе работы при больших скоростях скольжения воспринимает как статические, так и динамические нагрузки. Материалы колец пар трения должны поглощать и рассеивать тепловую энергию антифрикционного покрытия, без растрескивания и катастрофического изнашивания рабочих поверхностей, способную проявиться в результате многократных колебаний силового и теплового воздействий. Одним из эффективных способов повышения долговечности торцового уплотнения является нанесение на поверхности контакта колец износостойкого композиционного слоя из разнозернистых порошков карбида вольфрама, соединенных медьсодержащей матричной связкой, обладающей высокой теплопроводностью.

Принципиальной особенностью изготовления таких колец является то, что соединяются различные по своим физико-механическим свойствам и химическому составу материалы. Контактное кольцо является комбинированной деталью, основу которой составляет конструкционная сталь, а нанесенный на рабочую поверхность износостойкий пояс толщиной 2–3 мм в заданных чертежом размерах представля-

ет собой твердый композиционный материал с высокими антифрикционными характеристиками. Механическая обработка таких колец не представляет технологических трудностей, т. к. только контактная торцовая поверхность требует при обработке применения специального сверхтвердого абразивного инструмента. Технология изготовления колец пар трения с износостойким рабочим слоем включает следующие операции:

- выбор материала и получения заготовки контактных колец пары трения;
- приготовление шихты из разнозернистых порошков карбидов металлов;
- очистка заготовки и прессование шихты в торцовую канавку;
- приготовление матричного пропиточного сплава и его нанесение на напрессованный слой шихты;
- спекание и пропитка напрессованного слоя шихты в электропечи в восстановительной водородной или инертной среде;
- охлаждение заготовки вместе с печью;
- механическая обработка заготовки и получение контактного кольца пары трения торцового уплотнения.

УДК 621.793

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ
ЗА СЧЕТ ФОРМИРОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ СЛОЯ
КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ
КАРБИДА ТИТАНА**

В. В. Саранцев

*Белорусский национальный технический университет
(кафедра «Порошковая металлургия, сварка
и композиционные покрытия»), г. Минск*

С. А. Ковалева

*Государственное научное учреждение
ИМИНМАШ НАН Беларуси, г. Минск*

Керамические материалы находят широкое применение в практике благодаря целому ряду физико-химических и механических свойств. Карбид титана – материал с уникальными свойствами. Это прежде всего высокая температура плавления, высокая твердость, низкое электросопротивление, высокая теплопроводность, стойкость в агрессивных средах и к абразивному износу.

Для нанесения покрытия на основе карбида титана было предложено использовать сочетание двух известных процессов: электроискрового легирования (ЭИЛ) и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Покрытие по данной технологии формируется при значительно меньших энергозатратах, по сравнению с традиционным способом ЭИЛ, за счет дополнительного тепла от химической реакции при СВС, эквивалентной или превышающей энергию импульсных разрядов, что способствует повышению качества покрытия и росту толщины покрытия, а также увеличению его сплошности.

Результаты микроструктурных исследований покрытий показали, что наплавочный слой и переходная зона характеризуются практически беспористой мелкозернистой структурой, сформированной в условиях высоких температур и быстрого охлаждения. Размер зерен карбида титана при исследовании на атомно-силовом микроскопе (АСМ) составил 3–5 мкм. Результаты измерений микротвердости

по глубине свидетельствуют о достаточно высокой твердости 6–14 ГПа практически по всей толщине покрытия, обусловленной равномерным распределением фазовых составляющих в объеме покрытия.

При проведении дополнительной обработки по сформированному покрытию в режиме ЭИЛ только за счет массопереноса электрода или с нанесением повторного слоя реагентов на чистовых режимах установки можно получить на поверхности слой, обладающий хорошей прирабатываемостью и низким коэффициентом трения. Так при повторной обработке графитовым электродом микропоры и микротрещины заполнились графитом, что позволило повысить износостойкость упрочненной детали на 40 % за счет наличия в карманах смазки графита.

Выводы:

Способ нанесения покрытий при сочетании двух известных процессов ЭИЛ и СВС позволяет получать относительно толстые слои, обладающие достаточно высокой твердостью практически по всей толщине покрытия, а проведение дополнительной обработки по сформированному слою покрытия позволяет уменьшить значение коэффициента трения и ускорить процесс приработки деталей.

В результате, наименьшим износом обладает образец с дополнительной обработкой графитовым электродом, что объясняется наличием в зоне трения твердой смазки.

УДК 666.263.2

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

А. П. Павленко, И. А. Левин

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

Износостойкость – одна из важнейших характеристик материалов для деталей узлов трения, в значительной мере определяющая их надежность и долговечность. Износостойкость определяется условиями трения и свойствами материалов. В ряде случаев установлена корреляция износостойкости с твердостью, модулем упругости, прочностными свойствами материалов, коэффициентом трения. Однако в случае керамических материалов эта корреляция наблюдается далеко не всегда.

В настоящей работе проведена оценка износостойкости керамических материалов и ее сравнение с некоторыми свойствами назначения. Оценка износостойкости проводили по методике, описанной в работе [1]. Методика была реализована на установке, собранной на базе шлифовально-полировального станка ЗШП-350, оснащенного алмазной шайбой 2723-0201 А2 50/40 100 М2-01 ГОСТ 17007-80.

Износостойкость материалов оценивали на образцах в форме прямоугольного параллелепипеда длиной $20 \pm 0,05$ мм, с основанием в виде квадрата 4x4 мм. Образцы изготавливали на шлифовально-полировальном станке ЗШП-350 с помощью приспособлений, обеспечивающих точность размеров и правильность формы, что является определяющим в обеспечении одинаковой площади контакта образца с алмазной шайбой.

Условия испытаний: при комнатной температуре, охлаждение водой, средняя линейная скорость перемещения образцов по алмазной шайбе $v = 15,2$ м/с, прижимающее усилие $P = 70$ Н, продолжительность истирания – 66 с, база сравнения – 1000 м. За величину износа принималась среднеарифметическая величина десяти измерений длины образца и его массы.

Проведена оценка износостойкости образцов керамических материалов: корундовой керамики (5 марок) и карбидокремниевой керамики (5 марок), используемых в узлах трения различными производителями. Наибольшей износостойкостью обладают карбидокремниевые материалы. Величина износа корундовых материалов выше на 10–30 %. Установлено, что износостойкость корундовой керамики в значительной мере определяется ее структурой – в первую очередь, величиной зерна керамики, пористостью и в конечном итоге – прочностными характеристиками, в меньшей мере – твердостью и микротвердостью. Важное значение имеет химический состав. Показано, что введение модифицирующих оксидов в состав корундовой керамики улучшает их структуру, снижает пористость, повышает прочностные характеристики и износостойкость.

Литература

1. Дынкович, В. Н. Методика ускоренной оценки износостойкости керамических материалов / В. Н. Дынкович, А. П. Павленко // Трение и износ. – 2006 (27). – № 2. – С. 221–224.

УДК 674.812

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОДШИПНИКОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ТОРЦОВО-ПРЕССОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

А. Б. Невзорова, В. Б. Врублевский, В. И. Врублевская

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

Ю. Е. Кирпиченко

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

Целью настоящей работы является анализ работоспособности известных подшипниковых материалов по имеющимся данным и проведение сравнительных испытаний наилучшего самосмазывающегося полимерного материала САМ-4 с самосмазывающимися подшипниками скольжения (ПСС) на основе древесины торцово-прессового деформирования по износостойкости, надежности и техническому ресурсу. На основании результатов испытаний оценить возможности замены подшипников скольжения из традиционных материалов на ПСС.

Методы исследования. Оценка фрикционных свойств подшипниковых материалов проводилась в отделе трибоиспытаний ИММС НАНБ на машине трения типа 2070 СМТ-1 по схеме «вал—частичный вкладыш». В качестве контртела использовались ролики из стали 45. Испытания проводились при различных скоростях и нагрузках, при этом фактор $p\dot{v}$ не превышал 2,5 МПа·м/с. Одновременно проводились стендовые испытания ПСС-202 и производственные испытания

Результаты и их обсуждение. Анализ различных источников по исследованию антифрикционных свойств полимерных материалов (капрон, полиамид, полиимид, фторопласт, флулон, эпоксипластик и САМ-4) показал, что они значительно уступают по таким характеристикам как нагрузочная способность, износостойкость, работоспособность и некоторым физико-механическим свойствам ПСС на основе древесины торцово-прессового деформирования.

Сравнение результатов фрикционных испытаний показало, что коэффициент трения у ПСС в 6–9 раз ниже, чем у полимерного материала САМ-4, а ресурс работы по данным оценки скорости изнашивания при нагрузке 1000 Н превысил ресурс подшипника из САМ-4 в 4,5 раза.

Достоинством ПСС является то, что они не теряют работоспособного состояния при кратковременных температурах в зоне контакта 180–220 °С, в тоже время полимерные материалы подплавляются, теряют работоспособность и приводят к заклиниваю узел трения.

Сравнительные испытания с наиболее распространенным металлическим антифрикционным материалом на медной основе – бронзе, показали, что при работе без смазки уже при нагрузке 2 МПа и скорости скольжения 0,5 м/с происходит значительный износ бронзы с одновременным ее массопереносом на поверхность ролика. При таких же условиях износ вкладыша у ПСС практически не наблюдается.

На Гомельском ПО хлебопродуктов бала проведена замена бронзового подшипника в узле трения шнекового транспортера на ПСС. Узел трения работает в абразивно-агрессивной среде, замена привела к увеличению срока службы этого узла в 10 раз. При этом не требовалось техосмотра и теххода.

Вывод. На основании представленных результатов установлено, что ПСС на основе древесины торцово-прессового деформирования, установленные в соответствующие узлы трения скольжения, приводят к увеличению срока службы в 2–10 раз и повышению надежности работы машин и механизмов.

УДК 675.81: 620.193.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВЫХ ОТХОДОВ

К. С. Матвеев, А. Н. Буркин, А. К. Новиков, А. Н. Голубев

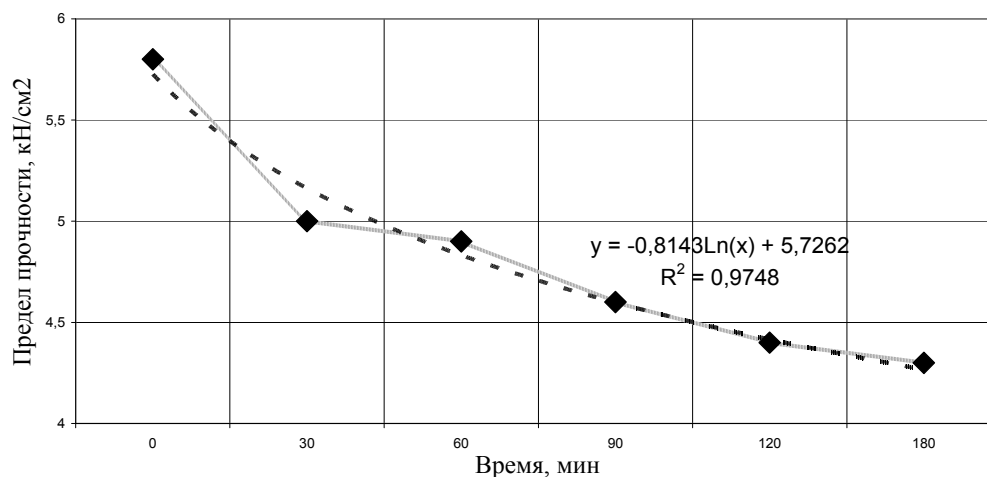
*Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет», Беларусь*

Одной из важнейших характеристик промышленных материалов является стабильность и неизменность их физико-механических и эксплуатационных показателей во времени. Особенно это касается материалов, изготовленных из отходов производства. Связано это с тем, что подобный материал неоднократно подвергается воздействию температуры и иных деструктирующих воздействий.

В данной работе изучению подвергались подошвенные материалы, изготовленные из отходов пенополиуретанов, которые образуются при получении подошв методом «жидкого формования». Сам процесс переработки отходов пенополиуретана заключается в контролируемой деструкции сетчатой структуры полимера и превращение его в термопластичный материал, который в дальнейшем может подвергаться многократным переработкам. Сам процесс переработки отходов осуществляется на шнековом экструдере. Однако каждая такая переработка сопряжена с термодеструкцией, которая является следствием воздействия высоких температур, давления и применения деструктирующих катализаторов, при этом даже сам материал при некоторых условиях может выступать катализатором.

Испытания на стойкость к воздействию температуры проводились в соответствии с ГОСТ 9.715-86. Сущность метода заключается в нагревании полимерного ма-

териала с заданной скоростью в воздухе и определении стойкости материалов к воздействию температуры по изменению прочности на разрыв.



Зависимость предела прочности на разрыв от времени воздействия температуры

Как видно из кривой, построенной по результатам испытаний, воздействие температуры в 80 °С в течение трех часов, приводит к падению прочности практически на 30 %. Это обозначает, что каждая последующая переработка, связанная с термическим нагревом, будет вызывать снижение прочностных параметров на 3–10 %. Таким образом, установлено, что длительное нахождение перерабатываемого материала в шнековом экструдере приводит к снижению прочностных показателей получаемого материала, за счет протекания процесса термодеструкции.

УДК 620.178.153

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗАКАЛКИ ФТОРОПЛАСТА МЕТОДОМ УДАРНОГО МИКРОИНДЕНТИРОВАНИЯ

А. П. Крень, А. О. Садовников

Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

С. Н. Юркевич

558 Авиационный ремонтный завод, г. Барановичи, Беларусь

Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

В настоящее время во всем мире наблюдается устойчивый рост производства изделий из фторопласта-4 (ПТФЭ), что объясняется его особыми свойствами, как конструкционного материала. ПТФЭ вытесняет металлические изделия в узлах трения, применяется для изготовления уплотнений, работающих в агрессивных средах, находит применение в медицине, производстве промышленных и бытовых изделий и способен работать в интервале температур от – 260 до +260 °С. В тоже время, на рынке практически отсутствует оборудование для эффективной экспресс оценки его физико-механических свойств, а показатели, по которым осуществляется контроль качества в сложившейся практике, явно не определяют его рабочие и эксплуатационные характеристики. Так, например, согласно ГОСТ 10007-80 «ФТОРОПЛАСТ-4. Техниче-

ские условия» приемка ПТФЭ осуществляется по прочности при разрыве и относительному удлинению при разрыве. Совершенно очевидно, что изделия из ПТФЭ если и работают при деформациях 100 % и более, при которых происходит разрушение образца, то в исключительных случаях, а потеря работоспособности изделия из ПТФЭ будет происходить значительно ранее.

Методы, приведенные в ГОСТ 10007-80, могут применяться только при изготовлении специальных образцов-свидетелей. При этом следует учитывать, что испытание образцов не всегда оправдано, поскольку конечной целью испытаний, как правило, является оценка материала изделия, свойства которого могут отличаться от свойств специально изготовленных образцов. Например, из-за различия в скорости охлаждения образцов и изделий при их изготовлении, и, как следствие, формирования различной структуры и физико-механических свойств. Поэтому для контроля изделий из фторопласта, прошедшего термообработку требуется методика и прибор, которые бы давали возможность оценить свойства непосредственно материала изделия, без его разрушения и без изготовления образцов, проследить изменение свойств изделия в процессе его изготовления и эксплуатации.

Наиболее подходящей для целей контроля изделий из фторопласта является установка ИМПУЛЬС-1Р, разработанная в Институте прикладной физики НАН Беларуси. Действие установки ИМПУЛЬС-1Р основано на ударном воздействии на материал посредством индентора и последующем определении свойств ПТФЭ на основании характера внедрения индентора в материал. Динамический вариант микроиндентирования имеет ряд преимуществ по сравнению со статическим, который реализован в приборах по измерению твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу, Шору. При импульсном нагружении материал начинает проявлять вязкие свойства, которые невозможно оценить при статическом воздействии, кроме того, динамическое нагружение моделирует наиболее жесткие условия, которым может подвергаться материал во время эксплуатации.

Испытания проводились на образцах Фторопласта-4 различной степени закалки и размеров. По результатам исследования было принято решение характеризовать материал при помощи комплексного показателя, который представляет собой произведение эластичности и коэффициента вязкости.

УДК 621.785.545: 669.018

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. И. Гордиенко, В. В. Ивашко, И. И. Вегера

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск

Важнейшей народнохозяйственной задачей на современном этапе экономического развития республики является повышение технологического уровня производства, экономия энергетических и материальных ресурсов, использование новых материалов. Поэтому в последние годы перед учеными-металловедами ставятся задачи по разработке технологических процессов получения новых материалов, обладающих высоким комплексом свойств, которые в наибольшей степени отвечают условиям эксплуатации деталей. К материалам, обладающим уникальными механическими, технологическими и специальными свойствами, относятся функционально-градиентные материалы, у которых наблюдается плавное изменение механических свойств или химического состава по сечению.

Цель исследования заключалась в разработке технологических процессов получения функционально-градиентных материалов на основе высокопрочных сталей методами высокоэнергетического воздействия.

Методология работы заключалась в определении оптимальных режимов термической обработки, обеспечивающих оптимальный комплекс свойств высокопрочных легированных сталей для заданных условий эксплуатации.

В результате предложены научно обоснованные технологические решения, практическая реализация которых позволяет существенно расширить область применения скоростных методов термической обработки для высокопрочных легированных сталей. Разработаны и освоены в производстве новые ресурсосберегающие и импортозамещающие процессы получения функционально-градиентных материалов методами высокоэнергетического воздействия.

Разработано оборудование и технология комбинированной обработки стальных защитных элементов, включающая химико-термическую обработку и высокочастотный нагрев поверхности, обеспечивающая получение градиентных структур с поверхностноупрочненным слоем толщиной 2–2,5 мм твердостью 57–62 HRC и вязким высокопрочным тылом с твердостью 54–56 HRC (патент РБ №2246). Предложенная технология обеспечивает получение градиентной структуры на броневых элементах, предназначенных для средств индивидуальной защиты, и повышает уровень баллистической защиты или снижает вес элементов на 10–15 %.

Разработана принципиально новая технология и оборудование для термической обработки рессорных листов, основанная на применении индукционного нагрева под слоем масла для сложнолегированных сталей. Новая технология позволяет получить высокопрочный закаленный слой толщиной до 2,5 мм с мелкозернистой структурой, что в комплексе с упрочненной сердцевиной обеспечивает повышение усталостной прочности рессор на 40–50 % (патенты РБ № 1618, 1744).

Разработана новая технология и опытно-экспериментальное оборудование (патент РБ №2275) для поверхностного электротермического упрочнения конусных поверхностей дисков, работающих на износ и контактную усталость, для установок плющения зерна. Внедрение установок в агропромышленном комплексе Республики Беларусь позволило уменьшить импорт такого типа оборудования из-за рубежа. Предполагаемый экономический эффект от внедрения машин взамен импортируемых составит около 800000 долларов США.

УДК 621.893:621.891

ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**И. Д. Дерлугян, Г. А. Данюшина, В. Т. Логинов,
П. Д. Дерлугян, В. А. Левинцев**

*Особое конструкторско-технологическое бюро «Орион»,
г. Новочеркасск, Россия*

В. Н. Ковалев

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

Проблема создания композиционного материала, обладающего заданными свойствами, связана с оптимальным выбором его структурных компонентов, т. е. наполнителя и матрицы. Такие композиции должны в максимальной степени со-

хранять гомогенность при заполнении формы затекании во все самые труднодоступные участки.

Важная роль в создании конструкционных материалов с заранее заданными свойствами отводится наполнителям (многофункциональным добавкам), которые можно вводить в связующее в процессе технологического переработки. Каждое из вводимых веществ может самостоятельно или в совокупности придавать композиции требуемые свойства.

В работе приведены свойства композиционных материалов на основе эпоксидной смолы, отверждаемой фенолформальдегидной смолой и дополнительно содержащей комплексное соединение меди. В качестве армирующего материала использованы базальтовое и мелкорубленое арамидное волокна, а также трикотажное полотно на основе арамидного волокна.

Дополнительное использование в составе композиции комплексного соединения меди, как предполагалось, будет способствовать ускорению процесса отверждения исследуемых смол.

В ходе выполнения работы были разработаны композиции на основе исследуемых материалов и определены их физико-механические характеристики, такие как трение, прочность и изгиб.

Полученные данные показали, что использование базальтового волокна в качестве армирующего компонента конструкционных материалов для узлов машин и механизмов неэффективно. Прочность на изгиб таких материалов незначительна и составляет 17–20 МПа, а коэффициент трения – 0,15–0,2.

Применение арамидного волокна в качестве армирующего компонента способствует повышению прочности на изгиб примерно в 2 раза. Наиболее эффективным оказалось применение трикотажного полотна на основе арамидного волокна, прочность на изгиб таких материалов лежит в пределах 60–80 МПа, коэффициент трения составляет 0,08. Определение коэффициента трения осуществляется на торцевой машине трения, при скорости относительного скольжения $V = 0,048$ м/с, $P_{уд} = 5$ МПа.

УДК 621.74.047

ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК НЕПРЕРЫВНЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СПОСОБОМ ЛИТЬЯ БЕЗ ДОРНА

Ю. Л. Станюленис

*Государственное научное учреждение «Институт технологии
металлов НАН Беларуси», г. Могилев*

В настоящее время, наиболее распространенным способом получения полых заготовок с помощью непрерывного литья является процесс, при котором внутренняя часть заготовки формируется охлаждаемым или неохлаждаемым дорном. При этом кристаллизатор может располагаться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Известен также способ получения данных отливок литьем намораживанием, при котором внутренняя часть заготовки формируется свободно, без дорна. Оба этих способа литья позволяют получать лишь полую заготовку.

ГНУ «ИТМ НАН Беларуси» разрабатывается процесс и оснастка (кристаллизатор, соединительный стакан, затравочное устройство, металлоприемник) для непрерывного горизонтального литья в ступенчатый кристаллизатор.

Данный способ литья позволяет получать качественные отливки нескольких номенклатур в одном процессе. Например, таким образом можно получить полую цилиндрическую заготовку и цилиндрический стержень с длиной равной длине полой заготовки и диаметру равному диаметру внутренней полости. Возможны и другие варианты, где профиль внутренней полости не обязательно должен совпадать с профилем наружной поверхности.

Были проведены теоретические и экспериментальные исследования данного процесса, изучены особенности механизма формирования отливки, влияние тепловых и технологических параметров на стабильность процесса литья и качество получаемых заготовок.

Эксперименты проводились с использованием кристаллизатора, двухступенчатая рабочая втулка которого выполнялась из стали Ст. 3, диаметр первой ступени был равен 50 мм, а второй 80 мм. В процессе литья контролировали время выдержки, время движения и время остановки в цикле, длину шага вытягивания, температуру металла в печи и разливочном ковше.

Полученные «телескопические» слитки разрезались на заготовки и далее разделялись на составные части с помощью гидропресса Д2430 Б или ручного пресса ДМ-30 М, при этом фиксировалось усилие разделения с помощью манометра ЭКМУ-2У или образцового динамометра ДОСМ-3-3.

Из полученных слитков изготовлялись шлифы, измерялась плотность и твердость чугуна полученных отливок.

Результаты проведенных экспериментов оценивались по таким критериям, как стабильность процесса литья, усилие разделения «телескопического» слитка, качество получаемых заготовок.

Результаты исследования показали реальность осуществления нового энергоресурсосберегающего технологического процесса получения непрерывнолитого слитка, разделяющегося на заготовки типа «втулки», стержни и т. д. и могут рассматриваться как основа для будущей его разработки. Такой технологический процесс не имеет мировых аналогов. Он наукоемок, импортозамещающий, энергосберегающий, экспортно-ориентирован, экологически безопасен, конкурентноспособен.

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ МЕХАНООБРАБОТКИ В ШИХТЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ СЕРОВОГО ЧУГУНА ПРИ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ

А. А. Супонев

*Государственное научное учреждение «Институт технологии
металлов НАН Беларуси», г. Могилев*

Выплавка высококачественных чугунов является сложным технологическим процессом, связанным с использованием различных шихтовых материалов и легирующих элементов. Лом и отходы черных металлов являются ценным, экологически чистым сырьем для металлургической промышленности. Достаточно большую долю в массе вторичных черных металлов занимает стружка. Использование ее в качестве компонента шихтовых материалов снижает себестоимость получаемого чугуна.

Разработанная в ИТМ НАН Беларуси технология утилизации дисперсных отходов чугуна, при литье непрерывно-циклическим методом намораживания (НЦЛН),

позволяет вести плавку в индукционных печах насыпью, без предварительной очистки и брикетирования.

В основу метода НЦЛН положен принцип направленного затвердевания, при котором наружная поверхность отливки ограничивается рабочей полостью кристаллизатора, а внутренняя получается непосредственно из расплава. Это создает ряд преимуществ по сравнению с распространенными способами литья полых цилиндрических заготовок, в частности устраняется образование усадочной и газовой пористости, попадание в тело отливок неметаллических и шлаковых включений. Метод обеспечивает получение заготовок с высокодисперсной структурой, повышенной плотностью и твердостью.

Исследования проводились применительно к плавке чугуна в индукционных печах ИСТ-016 и ИСТ-024 с кислой футеровкой и последующей разливке на установке НЦЛН.

Доля отходов механообработки в завалке составляла 70...80 %, из которых 70...75 % приходилось на стружку. В качестве компонентов шихты также использовались пердедельный чугун (10...20 %), стальной и чугунный лом в количестве до 5...10 %.

Установлено, что последовательность загрузки вторичных шихтовых материалов и отходов механообработки не оказывает в этих условиях заметного влияния на проявление наследственности в структуре металлической матрицы получаемой отливки. Однако ввод в состав шихты более 3...5 % отходов высокопрочного чугуна или 10...15 % серого чугуна с ферритной матрицей оказывает заметное наследственное влияние на формирование матрицы серого чугуна, вызывая увеличение количества феррита до 15...20 %.

Результаты проводимых исследований могут быть использованы при разработке технологии безотходного производства заготовок для гильз цилиндров, поршневых и уплотнительных колец из серого чугуна.

УДК 669.715

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИКИ ОХЛАЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

В. Н. Лаптинский, В. Ю. Стеценко

*Государственное научное учреждение «Институт технологии
металлов НАН Беларуси», г. Могилев*

Для определения эффективности охлаждения кристаллизатора при литье металлов и сплавов необходимо установить функциональную зависимость толщины гидродинамического ламинарного пограничного слоя вблизи поверхности охлаждения от ее протяженности и угла атаки струи охладителя (обтекание клинообразных тел).

Математической моделью для определения пограничного слоя являются уравнения Прандтля:

$$\frac{\partial v_x}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0; \quad (2)$$

с граничными условиями

$$\text{при } y = 0 \quad v_x = v_y = 0; \quad (3)$$

$$\text{при } y = \infty \quad v_x = v_\infty(x, \tau). \quad (4)$$

Известно, что решение задачи (1)–(4) представляет большие трудности даже для стационарного течения. В данной работе в случае, когда скорость на внешней границе пограничного слоя (скорость потенциального течения) изменяется по степенному закону, разработана конструктивная методика построения приближенных автомодельных решений задачи (1)–(4). Основным этапом методики является построение определяющей функции $u(\xi)$, которая, в частности, имеет вид:

$$u(\xi) = \exp(-a\xi^3), \quad (5)$$

где a – эффективно определяемый положительный параметр, ξ – безразмерная переменная величина, известная в теории пограничного слоя; $0 \leq \xi < \infty$.

Предлагаемая методика позволяет производить приближенный аналитический расчет гидродинамики пограничного слоя при различных условиях и параметрах охладителя.

УДК 669.715

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК12М2 НА ДИСПЕРСНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

С. Л. Радько, С. А. Харьков

*Государственное научное учреждение «Институт технологии
металлов НАН Беларуси», г. Могилев*

Известно, что повышение механических и эксплуатационных свойств заготовок из силуминов в основном зависят от дисперсности кристаллов кремния. Метод литья закалочным затвердеванием (МЛЗЗ) позволяет получать отливки из силуминов в отсутствие газоусадочного зазора между отливкой и литейной формой, что значительно увеличивает интенсивность их охлаждения. При этом получается равномерная высокодисперсная структура, с дисперсностью кристаллов эвтектического кремния 0,4...0,8 мкм. Особенностью МЛЗЗ является то, что структура получаемой заготовки в основном зависит от интенсивности циркуляционных потоков охладителя вблизи поверхности отливки. Поэтому для большего измельчения фазовых составляющих силумина, необходимо значительно увеличить интенсивность циркуляционного потока. Для этой цели было спроектировано и изготовлено специальное устройство со струйной системой охлаждения отливок. Его принцип основан на том, что вода из подводящего патрубка тангенциально поступает в кольцевой коллектор и из него, в виде затопленных струй, равномерно и интенсивно охлаждает наружную

поверхность отливки. При этом повышается турбулентность потока охладителя вблизи стенки заготовки и уменьшается толщина теплового пограничного слоя, что приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи от наружной стенки к охладителю и к повышению интенсивности охлаждения отливки.

Исследовали влияния интенсивности охлаждения заготовок на дисперсность кристаллов кремния в сплаве АК12М2. МЛЗЗ были получены опытные отливки диаметром 50 мм и высотой 200 мм с расходом воды от 10 до 50 м³/ч при давлении 1,4 атм. В качестве материалов шихты использовали чушки из сплава АК12 и лигатуру Al+30 %Cu. Плавку вели в термической печи марки «Spol-1300» в графитовом тигле. Температура перегрева металла составляла – 800 °С, а время выдержки – 1 ч. Модификаторы не применяли. Из средней части полученных отливок были вырезаны поперечные шлифы. После их шлифовки, полировки и химического травления водным раствором кислот (2 % HCl + 3 % HNO₃ + 1 % HF), микроструктуру образцов анализировали с помощью аппаратно-программного комплекса на базе электронного микроскопа «Carl Zeiss Axiotech vario» и сканирующего микроскопа «CAMSCAM». Методом металлографического анализа было установлено, что при расходе охладителя от 10 до 50 м³/ч размер кристаллов эвтектического кремния в сплаве АК12М2 диспергировался от 0,7 мкм до 0,2 мкм. При этом наблюдается инверсия микроструктуры, а кристаллы кремния принимают глобулярную форму.

Таким образом, при литье закалочным затвердеванием, увеличение интенсивности охлаждения отливок из сплава АК12М2 оказывает существенное влияние на дисперсность кристаллов эвтектического кремния.

УДК 669.715

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ КРИСТАЛЛОВ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ В ОТЛИВКАХ СПЛАВА АК12М2 НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

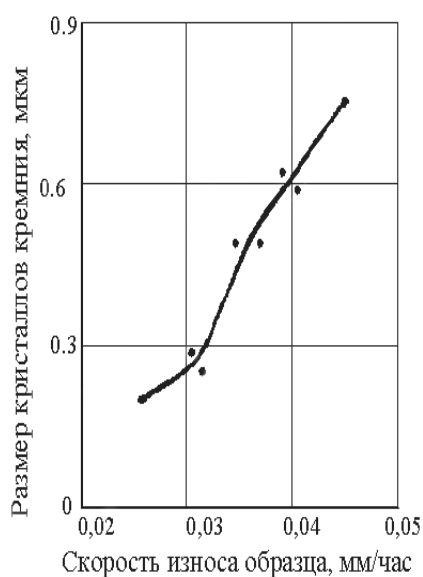
С. А. Харьков

Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов НАН Беларуси», г. Могилев

Известно, что износостойкость деталей из силуминов в основном зависит от инверсии их микроструктуры и дисперсности кристаллов кремния. В ИТМ НАН Беларуси разработан метод литья закалочным затвердеванием (МЛЗЗ), позволяющий получать отливки из силуминов с инвертированной микроструктурой и наноструктурным эвтектическим кремнием, размером 0,2...0,8 мкм.

Исследовали влияние дисперсности кристаллов эвтектического кремния в заготовках сплава АК12М2 на их износостойкость. Для этого МЛЗЗ были получены опытные отливки диаметром 50 мм и высотой 200 мм с различной дисперсностью кристаллов эвтектического кремния. В качестве материалов шихты использовали чушки из сплава АК12 и лигатуру Al + 30 % Cu. Плавку вели в термической печи марки «Spol-1300» в графитовом тигле. Температура перегрева металла составляла – 800 °С, а время выдержки – 1 ч. Модификаторы не применяли. Из полученных отливок были вырезаны образцы для испытания на машине трения СМЦ-2 по схеме вал-втулка. После термической обработки по режиму Т5 их твердость составляла 115 НВ. Исследование проводили в условиях сухого трения при нагрузке 0,6 МПа

и скорости скольжения образца относительно стального вала (твердостью 400 НВ) – 0,38 м/с. В качестве образцов сравнения выбрали антифрикционную бронзу БрО3Ц7С5Н. Износостойкость при трении определяли по убыли объема материала с 1 см² площади в 1 ч. В результате проведенных испытаний установлено, что износостойкость при сухом фрикционном трении опытных образцов существенно зависит от дисперсности кристаллов эвтектического кремния. Так при ее увеличении от 0,8 до 0,2 мкм скорость износа образцов уменьшается с 0,044 до 0,0238 мм/ч (рисунок). Скорость износа бронзы БрО3Ц7С5Н составила 0,82 мм/ч, что в 34 раза выше, чем у образцов из сплава АК12М2.



Влияние дисперсности кристаллов эвтектического кремния на скорость износа образцов:

1 – сплав АК12М2; 2 – сплав АК18М2

Таким образом, установлено, что износостойкость образцов из сплава АК12М2, полученных методом литья закалочным затвердеванием, существенно зависит от размера кристаллов эвтектического кремния. При увеличении их дисперсности от 0,8 до 0,2 мкм, скорость износа образцов уменьшается в 2 раза, а в сравнении с бронзой БрО3Ц7С5Н – в 34 раза.

УДК 669.715

ПОВЫШЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

В. Ю. Стеценко, С. Л. Радько

Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов НАН Беларуси», г. Могилев

В настоящее время наибольшее распространение получили кристаллизаторы с щелевой системой охлаждения. Ее эффективность относительно невелика, поэтому при литье силуминов для диспергирования их микроструктуры необходимо применение модификаторов. Резервом повышения охлаждающей способности таких кристаллизаторов является увеличение скорости охладителя в кольцевой щели между

рубашкой и экраном. Расчетным путем установлено, что для того чтобы повысить интенсивность охлаждения рубашки кристаллизатора в 2 раза, надо повысить среднюю скорость охладителя в 5 раз, а это технически трудно осуществимо, поскольку кристаллизаторы работают с минимальной шириной кольцевой щели.

Государственным научным учреждением «ИТМ НАН Беларуси» была разработана струйная система охлаждения рубашки кристаллизатора, позволяющая существенно повысить его охлаждающую способность без увеличения скорости и расхода охладителя. Принцип струйного охлаждения заключается в том, что струи охладителя из отверстий в экране равномерно и с высокой скоростью ударяют перпендикулярно наружной поверхности рубашки. При этом существенно увеличивается интенсивность турбулентности потока и уменьшается толщина теплового пограничного слоя вблизи рубашки, что повышает охлаждающую способность кристаллизатора. Расстояние от экрана до рубашки составляет 15–20 мм, что предохраняет кристаллизатор от закипания в нем воды при сбое или остановке работы насоса. Струйную систему охлаждения исследовали на опытном кристаллизаторе. Критерием интенсивности его охлаждения являлась дисперсность фазовых составляющих микроструктуры силуминов. Литьем в струйный кристаллизатор были получены заготовки из сплавов АК9, АК12 и АК18 диаметром 50 мм и высотой 170 мм. В качестве шихты использовали чушки алюминия марки А7 и силумина марки АК12, лигатуру Al + 40 %Si. Плавку вели в графитовом тигле печи сопротивления «Snol-1300». Модификаторы не применяли. Температура заливки сплава АК9 составляла 800 °С, АК12 – 850 °С и АК18 – 900 °С. Из средней части отливок были вырезаны поперечные шлифы. После их шлифовки, полировки и химического травления водным раствором кислот (2 % HCl + 3 % HNO₃ + 1 % HF) исследовали микроструктуру средней части шлифа с помощью аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss AxioTech vario». Полученные результаты сравнивали с результатами исследования микроструктуры заготовок, полученных литьем в щелевой кристаллизатор с применением модификаторов. Было установлено, что в опытных заготовках сплавов АК9 и АК12, полученных литьем в кристаллизатор со струйной системой охлаждения, дисперсность кристаллов эвтектического кремния увеличилась в 5...10 раз, а размер α-фазы – в 2...3 раза, по сравнению с литьем в щелевой кристаллизатор с применением модификаторов. В опытных заготовках из сплавов АК18, полученных литьем в струйный кристаллизатор, дисперсность кристаллов эвтектического и первичного кремния увеличилась в 2...3 раза по сравнению с литьем в щелевой кристаллизатор с использованием модификаторов.

Таким образом, струйная система охлаждения существенно повышает интенсивность охлаждения рубашки кристаллизатора и позволяет получать заготовки из силуминов с высокодисперсной структурой без применения модификаторов.

УДК 621.74

ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСПЛАВА ХЛОРИСТОЙ МЕДИ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ.

К. Э. Барановский, Э. Ф. Барановский

*Государственное научное учреждение «Институт технологии
металлов НАН Беларуси», г. Могилев*

Из хлористой меди (CuCl) изготавливаются литые электроды для водоактивируемых химических источников тока, в том числе, и методом непрерывного литья. Разработка этих технологий потребовала создания способа приготовления расплавов

на основе CuCl в больших объемах и специального плавильного оборудования для его реализации.

Химическая промышленность изготавливает CuCl в виде порошка насыпной плотностью 1200–1400 кг/м³. При плавке такого порошка в тигельной электропечи сопротивления с использованием металлических и графитовых тиглей традиционной конической формы было установлено, что плавление происходит очень медленно, а расплав в процессе плавки перегревается до недопустимо высоких температур порядка 550–600 °С. Это приводит к испарению хлористой меди, температура плавления которой составляет 420 °С и выгоранию легирующих добавок из сплавов на ее основе.

Причиной неудовлетворительных условий плавления CuCl в тиглях традиционной формы является ее низкая теплопроводность, которая на два порядка ниже теплопроводности металлов и составляет 0,56–0,6 Вт/м·К в твердом и 0,45–0,49 Вт/м·К в жидком состояниях. Это приводит к тому, что необходимый для приемлемых скоростей плавления тепловой поток от стенок тигля к порошку через расплав возможен только на начальной стадии плавления. Если интенсивность нагрева печи остается неизменной, то увеличение толщины слоя расплава в тигле приводит к недопустимо высокому его перегреву.

Для решения задачи получения за 4–4,5 ч значительных объемов расплава с перегревом не выше 100 °С выполнен анализ теплообмена при плавлении слоя порошка хлористой меди на плоской горизонтальной поверхности, температура которой поддерживается постоянной и не превышает 520 °С. В результате установлено, что необходимая интенсивность плавления обеспечивается, если толщина слоя расплава между тиглем и порошком не превышает 3–4 мм. Чтобы обеспечить эти условия расплав в процессе плавки должен непрерывно удаляться из зоны плавления. Чтобы обеспечить требуемые условия по температурному режиму расплава и производительности печи тигель должен быть двухкамерным. В камере плавления на плоской поверхности происходит непрерывное расплавление порошка, а образовавшийся расплав течет в расположенную ниже камеру термостабилизации, где догревается до требуемой по условиям литья температуры. Дно тигля в зоне плавления делается наклонным, чтобы толщина расплава на его поверхности не превышала 3–4 мм.

По результатам проведенного исследования разработана конструкция печи для приготовления 160–200 кг расплава на основе CuCl за 4–4,5 ч. Установленная электрическая мощность печи промышленной линии непрерывного литья CuCl ленты составляет 28 кВт, если площадь пода плавильного тигля 0,5 м². Такие печи были включены в состав промышленных линий непрерывного литья ленты из хлористой меди, которые поставлены ИТМ НАН Беларуси на экспорт.

Разработанная методика теплового расчета печей может быть использована для определения основных конструктивных параметров оборудования для приготовления расплавов из материалов, теплопроводность которых на несколько порядков ниже теплопроводности металлов.

УДК 621.74

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ОТХОДОВ СЧ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЧШГ ПРИ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ

А. А. Супонев

Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов НАН Беларуси», г. Могилев

Известно, что использование в качестве шихтовых материалов вторичных отходов чугуна и возврата собственного производства (технологическую обрезь и стружку) непременно ведет к снижению себестоимости получаемого чугуна. Поэтому рационально вводить в состав шихты при получении высококачественных заготовок из ВЧШГ и отходы серого чугуна.

Исследования проводились применительно к плавке чугуна в индукционных печах ИСТ-016 и ИСТ-024 с кислой футеровкой и последующей разливке на установке непрерывно-циклического литья намораживанием (НЦЛН).

Метод литья намораживанием (НЦЛН) полых цилиндрических заготовок мерной длины без применения стержня относится к принципиально новым перспективным разработкам в области специальных способов литья. Полученные этим методом заготовки отличаются плотной высокодисперсной структурой с повышенной твердостью без усадочных и газовых дефектов, трещин и засоров.

Проведенные исследования позволили установить следующие тенденции проявления структурной наследственности отходов серого чугуна при получении ВЧШГ.

Главным фактором, существенно влияющим на структуру и свойства получаемого ВЧШГ, является температура перегрева расплава в процессе плавки.

Установлено, что критическим порогом является температура 1520–1550 °С в зависимости от колебания химического состава. При температуре ниже этого предела структурная наследственность проявляется в виде появления в литой заготовке графита неправильной шаровидной формы (ШГф4; ШГд25...45) до 40 % и включений вермикулярного графита (ВГ) до 25 %.

Превышение температуры перегрева выше указанного предела нейтрализует структурную наследственность и способствует формированию в структуре включений мелкого графита правильной шаровидной формы (ШГф5; ШГд15...25) по всему сечению НЦЛН-отливки.

Другим фактором, обуславливающим структурную наследственность при получении ЧШГ из отходов СЧ, является количество дисперсных отходов СЧ в шихте более 20 %. Это ведет к деглобуляризации графита и снижению свойств ЧШГ.

Полученные результаты воплощены при разработке технологии изготовления высококачественных заготовок для поршневых и уплотнительных колец на основе вторичных отходов.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ
ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ****А. А. Шепелев, В. Г. Сороченко***Институт сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля
научно-технологического алмазного концерна «АЛКОН»
НАН Украины, г. Киев*

Разработка и производство современных конкурентоспособных на мировом уровне самолетов, а также вертолетов требует соответствующих объемов производства и механической обработки полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе высокопрочных и высокомодульных волокон (борных, углеродных, стеклянных, органических и др.), а также гибридных металлополимерных материалов (МПКМ). Решение этой важной стратегической задачи непосредственно связано с разработкой новых высокоэффективных технологий механической обработки резанием далеко не простых с точки зрения обрабатываемости резанием ПКМ и МПКМ, а также освоения серийного производства прогрессивных конструкций режущих инструментов, оснащенных сверхтвердыми материалами.

Институтом сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработаны технологии алмазно-абразивной резки, шлифования, зачистки, сверления и зенкования деталей и изделий из ПКМ и МПКМ, которые реализованы в условиях машиностроительных цехов авиационной и судостроительной промышленности Украины и России:

- гамма однослойных алмазно-абразивных инструментов с функционально-ориентированным рабочим слоем, для производства которых применяется система автоматизированного проектирования САПР АИСТМ;

- научно-обоснованные практические рекомендации по алмазно-абразивной резке (разрезание), шлифованию, зачистке, сверлению и зенкованию;

- рекомендации по модернизации станков и средств малой механизации (ручные пневматические машины) для резки, шлифования, зачистки, сверления и зенкования. Реализация высокоэффективной технологии алмазно-абразивной обработки деталей и изделий из ПКМ и МПКМ алмазно-абразивными инструментами вместо традиционно применяемых режущих инструментов позволяет улучшить качество обработанной поверхности (свести к минимуму действие термической деструкции полимерной составляющей, исключить прижоги, сколы кромок, расслоения, ворсистость и другие дефекты на обработанной поверхности ПКМ, обеспечивая при этом шероховатость поверхности в пределах $R_z 20 \dots 40$;

- увеличить производительность обработки при разрезании в 2,5–3,0 раза, при шлифовании и сверлении в 3–9 раз, при зенковании конических и цилиндрических углублений в отверстиях в 3–5 раз;

- повысить срок службы инструмента при разрезании в 5–7 раз; при шлифовании угле-, стекло- и органостеклопластиков в 5–10 раз, сотовых наполнителей в 9–10 раз; при сверлении отверстий в угле-, стекло- и органостеклопластиках в 5–10 раз, а алоре в 9–10 раз; при зенковании углепластиков в 7–8 раз, боропластиков в 4–5 раз, органостеклопластиков в 10–12 раз. Чрезвычайно высокая размерная стойкость однослойного алмазно-абразивного инструмента, обеспечиваемая им точность обработки, исключение правки, сокращение времени на замену инструмента, возможность интенсификации режимов резания создают реальные возможности для

механизации и автоматизации производственных процессов алмазно-абразивной обработки ПКМ и МПКМ;

- улучшить санитарно-гигиенические условия труда работающих.

УДК 533.9.924+621.793.18

ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЙ МАГНЕТРОННЫЙ МЕТОД НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Н. Н. Федосенко, Д. Г. Филиппов, Д. Л. Горбачев

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

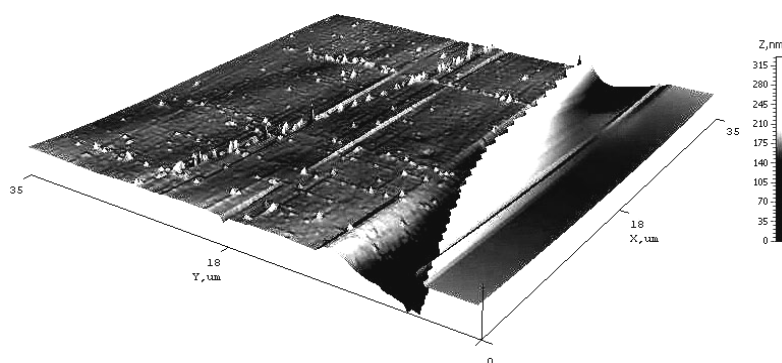
Н. И. Саян

НПО «Интеграл» г. Минск, Беларусь

Наиболее распространенными устройствами ионно-плазменного нанесения материалов являются устройства магнетронного распыления. Они наиболее производительные, обеспечивают максимальные скорости ионно-плазменного нанесения материалов.

Целью работы получение углеродных алмазоподобных пленок методами магнетронного распыления углеродных тканей. В качестве мишеней использовались углеродные ткани следующих марок: Т-1, Т...Р, Т-2. Углеродные покрытия наносились при напряжении разряда 250–900 В и токе разряда 0,5–1 А. Рабочее давление в камере было порядка 10^{-1} Па. В качестве подложек использовались полированный монокристалл кремния и NaCl. Время напыления варьировалось от 10 до 50 мин. Морфология поверхности полученных пленок исследовалась методами атомно-силовой микроскопии (NT-206). Фазовый состав полученных пленок исследовался методами ИК-спектроскопии (Фурье-спектрометр «VERTEX-70») и спектроскопии комбинационного рассеяния с помощью приставки RAM II.

Морфология полученной пленки имеет явно выраженные пирамидальные образования с размерами от 0,1 до 0,4 мкм, расположенных в линейно-ориентированном порядке (рисунок).



Изображение поверхности АПП на кремниевой подложке, полученное методом атомно-силовой микроскопии (размер участка сканирования 36x36 мкм)

Подобного рода углеродное покрытие можно идентифицировать как аморфное алмазоподобное, а пирамидальные образования являются областями с sp^3 гибридизацией. Анализ данных полученных методом КРС показал, что полученная пленка представляет собой структуру, состоящую из областей с sp^3 и sp^2 гибридизацией

атомов и переходной области, в которой присутствует материал смешанного типа. Причем области с sp^3 гибридизацией атомов имеют мелкодисперсную структуру, что хорошо подтверждается данными атомно-силовой микроскопии.

Полученные покрытия могут найти применение в качестве функциональных защитных слоев элементов узлов трения.

УДК 539.26:669.5

МЕТАСТАБИЛЬНАЯ ФАЗА ЦИНКА В ФОЛЬГАХ, ПОЛУЧЕННЫХ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ РАСПЛАВА

В. В. Лозенко, В. Г. Шепелевич

Белорусский государственный университет, г. Минск

Одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения является использование сверхвысоких скоростей охлаждения расплава при затвердевании. Особый интерес при этом проявляют к образованию новых метастабильных фаз. В связи с этим, целью настоящей работы являлось исследование фазового состава быстрозатвердевших фольг цинка и его сплавов.

Исследуемые в работе фольги цинка были получены сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы инжестированием капли расплава ($\sim 0,2$ г) на внутреннюю полированную поверхность медного вращающего цилиндра с частотой 25 об/с. Толщина используемых фольг изменялась от 30 до 80 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет, была не менее 10^6 К/с. Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном медном и кобальтовом излучениях. Изохронный отжиг исследуемых фольг проводился последовательно от комнатной температуры и до температуры плавления с интервалом в 20°C и выдержкой 20 мин для каждой температуры.

Съемка при высокой чувствительности показала, что в фольгах цинка, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава, наблюдаются дифракционные отражения, не принадлежащие равновесной фазе цинка. В массивных слитках цинка таких рефлексов не наблюдалось. Известно, что в жидком цинке имеются микрообласти с упаковкой атомов, отличающихся от упаковки в кристаллической решетке цинка, и охлаждение с большой скоростью способствует образованию из них зародышей новой фазы. Следовательно, в быстрозатвердевших фольгах цинка помимо равновесной фазы цинка существует новая метастабильная фаза Zn' . Средний размер частиц данной фазы, рассчитанный по формуле Селякова, составляет примерно 0,1 мкм. Угловое положение дифракционных линий, а также соответствующие величины межплоскостного расстояния для фазы Zn' представлены в таблице. Расчет показал, что структура кристаллической решетки Zn' , также как и для равновесной фазы Zn, гексагональная плотноупакованная с параметрами $a = 2,62 \text{ \AA}$, $c = 5,46 \text{ \AA}$.

Параметры метастабильной фазы Zn'

$2\Theta_{\text{измер}}$	$d_{\text{экспер}}, \text{ \AA}$
$32,8^\circ$	2,73
$39,6^\circ$	2,27
$43,4^\circ$	2,08
$65,4^\circ$	1,43

68,8°	1,37
71,7°	1,32
81,7°	1,18
87,9°	1,11

Исследовано влияние термической обработки на фазовый состав исследуемых быстрозатвердевших фольг. Так, их изохронный отжиг вплоть до температуры плавления не привел к исчезновению метастабильной фазы Zn'. Изотермический отжиг фольг цинка и его сплавов при температурах, близких к температуре плавления (380 °С), привел только к уменьшению интенсивности дифракционных отражений, принадлежащих новой фазе. И только при расплавлении и последующем затвердевании фольг с малыми скоростями охлаждения (~ 1 К/с) данные рефлексы исчезают.

Следует отметить, что наблюдаемые дифракционные отражения в быстрозатвердевших фольгах цинка были обнаружены и в фольгах бинарных сплавов цинка с Cu, Ge, Cd, Sn, Mg, интенсивность которых также уменьшалась с отжигом.

УДК 548.735:669.715

СТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВА АМГ6

В. Г. Шепелевич

Белорусский государственный университет, г. Минск

Целью исследования являлось установление закономерностей формирования структуры фольг при сверхбыстрой закалке из жидкой фазы и ее изменения при последующей термической обработке. Фольги получены инжектированием капли расплава (~0,2 г) на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Толщина исследуемых фольг составляла 30...100 мкм. Скорость охлаждения расплава была порядка 10^6 К/с.

Сторона фольги, прилегающая к поверхности кристаллизатора, имела зеркальный вид, а на противоположной стороне наблюдались неровности и ячеистая структура. Проведенный рентгеновский микроанализ поперечного среза фольг показал однородное распределение алюминия, магния, марганца и железа, т. е. сплав находился в однофазном состоянии.

Быстрозатвердевшие фольги имели микрокристаллическую структуру, а зерна – преимущественную ориентацию. В таблице приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий алюминия, рассчитанных по методу Харриса. Наибольшим значением полюсной плотности характеризовалась дифракционная линия 111, что указывало на формирование текстуры (111). Более половины объема фольги ориентировано плоскостями {111} параллельно ее поверхности.

Быстрозатвердевшие фольги сплава АМг6 находились в неустойчивом состоянии, что приводило к изменению структуры при их термической обработке. Отжиг фольг при 315 °С и более высоких температурах вызывал монотонное уменьшение параметра кристаллической решетки твердого раствора на основе алюминия, что свидетельствовало о его распаде.

Рентгеноспектральный микроанализ фольг, отожженных при 540 °С в течение 1 ч, выявил мелкодисперсные выделения магнийсодержащей фазы, дифракционные отражения которой соответствовали β -фазе. Их размер достигал 5 мкм. Кроме того, наблюдались мелкодисперсные выделения размером до 2 мкм, содержащие марганец

и железо, что позволило предположить образование сложного алюминида $(Mn, Fe)Al_6$ при распаде пересыщенного твердого раствора.

Отжиг при 540 °С вызвал перераспределение полюсных плотностей дифракционных линий. Текстура (111) ослабевала и появилась текстура (100), что связано с протеканием собирательной рекристаллизации.

Изменение полюсной плотности дифракционных линий и параметра кристаллической решетки твердого раствора алюминия при отжиге

Температура (°С) / время (ч) отжига	Дифракционные линии						Параметр кристаллической решетки (нм)
	111	200	220	311	331	420	
Исходн. сост	3,2	0,9	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4072
220/1	3,1	1,0	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4074
315/1	3,0	1,0	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4071
420/1	3,1	1,0	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4069
540/1	1,6	1,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4063

УДК 539.374

САМООРГАНИЗАЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ИЗНАШИВАНИЯ

С. В. Давыдов, В. М. Сканцев

Брянский государственный технический университет, Россия

Интенсивное изнашивание в большинстве случаев происходит в условиях, когда присутствуют абразивные частицы (минеральные естественного происхождения, химические соединения и продукты износа). Данные условия в наибольшей степени характерны для эксплуатации конвейеров с подвесной лентой при транспортировке рудных материалов, селитры, угля, мела, зерна и т. п.

Основными элементами конвейера данного типа являются два опорных ролика, внешняя контактная поверхность которых является вогнутой (рис. 1, а).

В процессе эксплуатации конвейера обнаружено явление разупрочнения контактной поверхности детали «ролик» в открытой паре трения качения «опорный ролик – трубная направляющая» (рис. 1, б, в; зона 1).

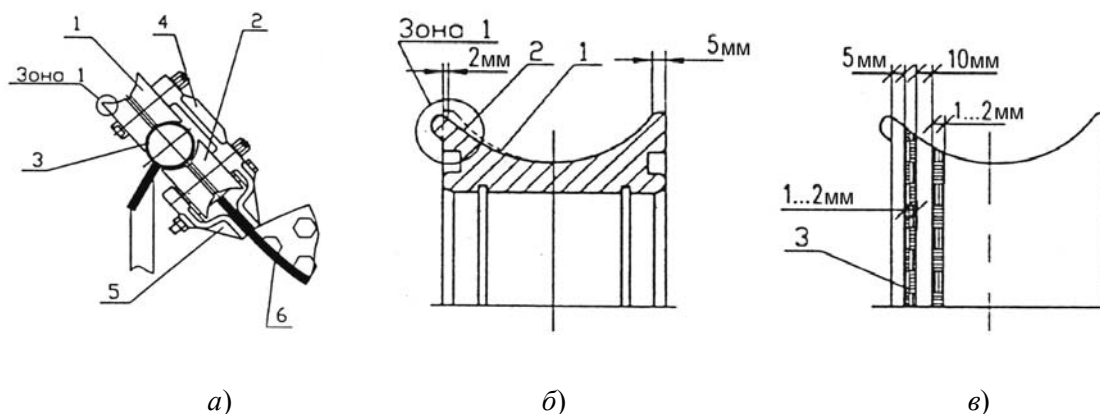


Рис. 1. Конфигурация и поверхность опорного ролика:
a – положение подвески на рабочей ветви конвейера: 1 – опорный ролик верхний, опорный ролик нижний; 3 – трубная направляющая; 4 – корпус подвески; 5 – фиксирующая планка; *б* – конвейерная лента;
б – изменение профиля качения ролика в зоне 1: 1 – до эксплуатации; 2 – после эксплуатации; *в* – положение разупрочненных зон на поверхности катания ролика: 3 – ферритные полосы

Явление разупрочнения проявляется в интенсивном износе контактной поверхности верхнего ролика в зоне 1 (рис. 1, *a, б*). Край реборды в результате износа утончается с 5 мм до 1...2 мм с образованием наплыва из деформированного металла.

Разупрочнение металла в зоне контакта ролик-труба объясняется образованием в структуре поверхностного слоя металла неравномерного тонкого слоя пластически деформированного феррита, образующего полосы разупрочнения по поверхности верхнего ролика в зоне 1 (рис. 1, *в*), причем следует отметить, что наряду с текстурой деформации ферритных зерен в зоне деформации наблюдаются равноостные зерна, что свидетельствует о протекании процессов рекристаллизации. В этом случае можно говорить о том, что происходит процесс самовосстановления деформированной структуры феррита в процессе трения.

Обнаруженное явление разупрочнения свидетельствует о метастабильности сорбита в заданных условиях эксплуатации и о нецелесообразности применения «улучшения» как термической обработки, для повышения износостойкости стали.

Исследованиями установлено, что разупрочненные полосы феррита интенсифицируют износ поверхности ролика и являются источником внутренних трещин, ответственных за скол реборды ролика. Причина возникновения слоев феррита заключается в том, что в условиях сложного термосилового воздействия в зоне трения сорбитная структура стали становится неработоспособной, метастабильной и претерпевает распад на более стабильную структуру феррита, но менее прочную и износостойкую. Механизм обнаруженного явления еще предстоит выяснить в дальнейших исследованиях. Причем, парадоксальность данного явления состоит в том, что направляющие трубы изготовлены из стали 10 с поверхностной твердостью $HV = 1400$ МПа, а интенсивно изнашиваемый ролик из улучшенной стали 45 с твердостью $HV = 2600...2800$ МПа.

УДК 621.762

КЕРАМИЧЕСКАЯ НАСАДКА ГИДРОМОНИТОРА

В. М. Шелехина, М. А. Исупов

*Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии»
 БГНПК ПМ Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

Гамма изделий, работающих в условиях гидроабразивного изнашивания, очень велика. Это различные распылители красок, форсунки для впрыска топлива, гидромониторы для мойки и т. д.

Наибольшему гидроабразивному воздействию движущейся жидкости подвергаются распыливающие насадки, на поверхности которых создаются максимальные скорости и давления жидкости, вызывающие интенсивный износ изделия. Для изготовления насадок прекрасно зарекомендовали себя твердые сплавы на основе карби-

да вольфрама. Однако высокая стоимость твердых сплавов на основе WC во многих случаях вызывает потребность в замене их на другие композиционные материалы.

В настоящее время все более широкое применение для изготовления насадок находят различные керамические материалы, сочетающие достаточно высокую прочность и высокую гидроабразивную износостойкость. К их числу относится керамика на основе оксида алюминия, которая во многих случаях может заменить твердые сплавы.

В работе исследуются процессы получения алюмооксидной керамики, легированной оксидом циркония и легкоплавкой стеклодобавкой, а также методы изготовления из нее насадок гидромониторов моечных машин с различной геометрией струи. Технология конструкционной керамики основана на использовании исходных порошковых материалов, их диспергировании, компактировании и спекании, в процессе которого формируется структура и заданный комплекс физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик.

Представлены результаты исследования процессов размола керамических смесей, определены оптимальные условия получения дисперсных порошков с равномерным распределением отдельных компонентов. Характер измельчения для всех порошков одинаков, на первых этапах интенсивное измельчение, затем процесс замедляется и при размере частиц 0,5–1 мкм практически прекращается. Это связано с деформационным упрочнением частиц и резким возрастанием удельной поверхности измельчаемых порошков. Размер частиц порядка 1 мкм дает возможность получить высокоплотные материалы с остаточной пористостью менее 3–5 %.

Изучено влияние режимов прессования и спекания на структуру, фазовый состав и физико-механические характеристики материала. Оксид циркония в сплаве в основном представлен в виде частиц, расположенных на границах или внутри зерен оксида алюминия. Наблюдается некоторое взаимодействие легкоплавкой компоненты с оксидом алюминия, но по преимуществу она присутствует по границам зерен оксида алюминия в виде стеклофазы, в состав которой входят Al_2O_3 и ZrO_2 . Плотность образцов, спеченных при оптимальной температуре, составляет 97–99 %, микротвердость – 15000–17000 МПа. На основе проведенных исследований получены керамические насадки гидромониторов моечных машин с различной геометрией струи.

УДК 669.017.3

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В. В. Шевельков

*ГОУ ВПО «Псковский государственный
политехнический институт», Россия*

Наблюдаемое в последнее время увеличение стоимости цветных металлов и сплавов, обусловленное высокой энергоемкостью процесса производства, существенно ограничивает их применение в машиностроении.

В этих условиях возрастает роль титана и сплавов на его основе, обладающих уникальным комплексом физико-химических свойств, который расширяет область промышленного применения этих материалов. Однако даже в авиационной про-

мышленности применение титановых сплавов не достигло ожидаемого уровня из-за трудностей получения точных штамповок, высокой стоимости механической обработки и низкого коэффициента использования металла.

Для снижения металлоемкости титановых изделий эффективным, но далеко не полностью реализованным, является способ изменения механических свойств титановых полуфабрикатов термической обработкой.

На результативность термической обработки и получаемый уровень механических свойств существенно влияет ряд факторов, важнейшими из которых являются:

1. Химическая неоднородность в объеме слитков и массивных крупногабаритных деталей, обусловленная несовершенством технологии выплавки титановых сплавов из расходуемого электрода в вакууме. В связи с этим представляют значительный интерес совершенствование существующих способов плавки и разработка новых способов термообработки титановых заготовок, которые обеспечивали бы повышение их однородности.

2. Пониженная теплопроводность титановых сплавов. Поэтому изучение прогрева массивных заготовок, разработки методик расчета скоростей нагрева и охлаждения позволяет оптимизировать временные режимы термической обработки.

3. Сложность и многостадийность протекания фазовых превращений, определяющих уровень механических свойств титановых сплавов. Реализовать преимущества упрочняемых двухфазных титановых сплавов как материалов с высокой прочностью, малым удельным весом, наиболее рационально в больших изделиях, благодаря выигрышу в весе. Традиционной является схема термической обработки, включающая закалку и старение. Варьированием времени выдержки, температур обработки, скоростей нагрева на разных стадиях удастся оптимизировать режимы упрочняющей термической обработки с позиций получения требуемого уровня механических свойств.

В работах (А. с. № 1725568, № 1279263, № 1752825, № 269108, № 318586 и др.) показано, что при изменении режимов термической обработки на всех ее стадиях, а также при введении дополнительных этапов обработки можно регулировать протекание фазовых превращений таким образом, чтобы получать достаточно высокий уровень механических свойств в массивных изделиях: $\sigma_b = 1080\text{--}1180$ МПа; $\delta = 8\text{--}12\%$; $\psi = 15\text{--}25\%$; $KCU = 0,5\text{--}0,7$ МДж/м².

УДК 658.012.011+518.5

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТИПОВЫХ РЕДУКТОРОВ

Т. В. Кадач, В. Б. Попов

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Наиболее распространенными приводами в машиностроении являются редукторы с цилиндрическими и коническими зубчатыми передачами. Одним из направлений увеличения их нагрузочных способностей и получения их наилучших показателей является многокритериальная оптимизация параметров передач, что не требует улучшения качества материала и других мероприятий, повышающих стоимость привода.

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с автоматизацией проектирования одно- и двухступенчатых цилиндрических и коническо-цилиндрических редукторов.

Применен подход, связанный с математическим моделированием редуктора и сведением исходной задачи проектирования к задаче принятия решения в условиях многокритериальности.

Задание на проектирование осуществляется в диалоговом режиме путем указания схемы привода и соответствующего ей списка и диапазонов изменения оптимизируемых параметров и набора критериев оптимальности. В результате обработки списка формируется оптимизационная модель привода и файл постоянных параметров, содержащий сведения о передаваемых нагрузках и материалах зубчатых колес.

Оптимизируемыми параметрами для одноступенчатых редукторов являются модуль зацепления m и число зубьев шестерни z_1 . Для двухступенчатых приводов оптимизируемыми параметрами были выбраны модуль зацепления первой и второй ступеней m_1 и m_2 , число зубьев первой и второй ступеней z_{11} и z_{21} , передаточное число второй ступени U_2 .

В качестве критериев оптимальности для одноступенчатых редукторов были приняты равнопрочность по контактным и изгибным напряжениям Y и объем передачи V . Для двухступенчатых приводов критериями выбраны общий объем передач V , равнопрочность по контактным и изгибным напряжениям первой и второй ступеней Y_1 и Y_2 , разность равнопрочностей первой и второй ступеней.

Технические ограничения, формирующие область допустимых решений, включают проверку варианта на прочность по контактным и изгибным напряжениям зубчатых колес, на интерференцию элементов редуктора друг с другом, на число зубьев z , на угол наклона зуба β , на передаточное отношение U и на погрешность передаточного отношения ΔU .

Для поиска компромиссного проектного решения используется созданная в БНТУ диалоговая система многокритериальной оптимизации, базирующаяся на методе исследования пространства оптимизируемых параметров с выделением паретовских решений и определением из них окончательного варианта формальными или интерактивными методами. Полученные значения диаметров и ширина зубчатых колес могут импортироваться в любую CAD систему для вычерчивания редуктора.

УДК 621.791.9

ИЗНОСОСТОЙКИЕ И КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННЫЕ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПОРОШКАМИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Ф. И. Пантелеенко, Е. Ф. Пантелеенко

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Г. В. Петришин, Е. Э. Дмитриченко

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

Магнитно-электрические методы обработки ввиду своих достоинств получили распространение в сельскохозяйственном машиностроении при нанесении покрытий на детали, работающих в условиях абразивного загрязнения, удара, коррозионного изнашивания. Сдерживающим фактором широкого развития и применения данной технологии является нестабильность процесса, высокая шероховатость поверхности, а также ограниченная толщина нанесенного слоя, соизмеримая с припуском на шли-

фование, ввиду чего невозможна их дополнительная механическая обработка по повышению качества поверхности. При этом ряд исследований магнитно-электрических методов обработки показал возможность управлять свойствами наносимых покрытий совершенствованием как технологии, так и разработкой новых наплавочных материалов, учитывающих технологические особенности процесса. В практике наплавки другими методами широкое распространение получили самофлюсующиеся порошки на железной и никелевой основах, которые в технологии магнитно-электрического упрочнения до сих пор не применялись. Исследования закономерностей образования структуры и свойств покрытий, наносимых методом магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) с использованием самофлюсующихся борированных порошков показали высокую эффективность применения нового наплавочного материала. Покрытия, нанесенные борированными порошками на основе стали 40Л, показали относительную износостойкость при различных условиях изнашивания на уровне 4,0...7,0. при этом они показали и повышение стойкости к окислению при повышенных температурах, что позволило предположить о возможности применения таких покрытий в качестве коррозионно-стойких.

Дополнительное легирование наплавочных материалов такими легирующими элементами, как хром и никель, позволит существенно повысить коррозионную стойкость покрытий и применить их в новом качестве. При этом на белорусских предприятиях в избытке имеются отходы высокохромистого чугуна, технология утилизации которых до сих пор не отлажена. После дополнительной химико-термической обработки этих отходов на их основе получили самофлюсующиеся наплавочные материалы, обладающие комплексом свойств: высокой износостойкости и высокой коррозионной стойкости. В процессе исследований были выявлены особенности диффузионного борирования частиц порошка на основе хромистого чугуна, а также разработаны технологические режимы МЭУ с использованием высоколегированных самофлюсующихся порошков. Кроме того, с целью выявления влияния характеристики источника технологического тока на свойства покрытий, были проведены исследования на установке с генератором импульсов ШГИ-125, имеющего возможность регулировки как частоты разрядов, так и их формы.

В результате проведенных исследований были установлены закономерности влияния характеристики импульсов на свойства покрытий, а применение в качестве наплавочных материалов самофлюсующихся порошков на основе высокохромистого чугуна позволило получить повышение коррозионной стойкости покрытий в 10...12 раз при повышении абразивной износостойкости в 6...8 раз.

УДК 666.1.053:541.68

ПОЛИМЕРОСОДЕРЖАЩАЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТЕКЛА

И. И. Злотников, П. А. Хило

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

М. И. Зубрицкий

*Учреждение образования «Мозырский государственный
педагогический университет», Беларусь*

Современную технологию обработки материалов невозможно представить без широкого использования смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Наибольшее

применение СОЖ находят при обработке металлов резанием. Менее масштабным, но не менее важным является использование технологических жидкостей при обработке стекла, в первую очередь, на операциях шлифования. Шлифование стекла – это сложный процесс, включающий ряд механических, химических и механохимических явлений. Как правило, СОЖ для шлифования стекла представляет собой многокомпонентный водный раствор, главной составляющей которого являются поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые играют роль смазки и уменьшают работу диспергирования обрабатываемой поверхности. В последнее время стали широко использовать полимеросодержащие водные растворы. В качестве полимеров наиболее часто используются аминоксодержащие полимеры и олигомеры: полиэтиленполиамин и его сополимеры, акриламид, полигексаметиленполигуанидин и др.

Цель настоящей работы – исследование возможности использования в качестве основы СОЖ для шлифования стекла сополимера акриламида с акрилатами аммония и натрия (САА), который может быть легко получен щелочным гидролизом полиакрилонитрила, в качестве которого были использованы отходы (остриг) полиакрилонитрильного волокна Жлобинской фабрики искусственного меха.

Эффективность СОЖ оценивали по величине коэффициента трения и интенсивности съема стекла при имитации процесса шлифования, который осуществляли на машине трения СМЦ-2 по схеме ролик – колодка. В качестве ролика использовали стандартные алмазные и абразивные круги диаметром 40–50 мм, в качестве колодки – образец стекла толщиной 10 мм. Подача растворов в зону шлифования осуществлялась путем окунания вращающегося круга в кювету с испытываемой жидкостью. Шероховатость обработанной поверхности измеряли на профилографе «Калибр ВЭИ».

Результаты испытаний водного раствора САА в качестве СОЖ для шлифования стекла представлены в таблице. Для сравнения испытывали раствор полиэтиленполиамин (ПЭПА), широко применяемого в качестве основного компонента СОЖ для алмазной обработки стекла.

Эффективность использования водных растворов полимеров в качестве СОЖ

Показатель	Вид СОЖ		
	0,5 % САА	0,5 % ПЭПА	Вода
Коэффициент трения	0,50	0,55	0,65
Съем стекла, мкм/мин	5,0	4,5	2,5
Шероховатость R_a , мкм	0,32	0,36	0,45

Из приведенных данных следует, что раствор САА представляет собой перспективную СОЖ для алмазной обработки стекла. Кроме хороших технологических показателей данная СОЖ характеризуется низкой стоимостью, т. к. ее основной компонент является отходом производства.

УДК 666.151:666.1.053.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАЧЕСТВЕ РАСКЛИНИВАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

И. И. Злотников, П. А. Хило, П. Д. Петрашенко

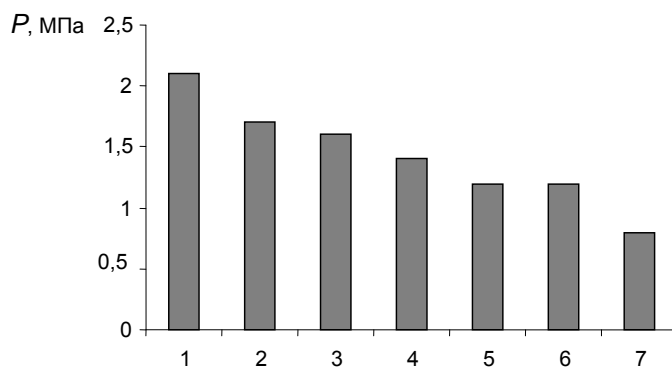
*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Традиционный способ резки стекла заключается в нанесении на поверхность стекла твердосплавным роликом линии реза и разломе вдоль этой линии. Для обеспечения скорости и качества раскроя стекла применяются расклинивающие жидкости, основная функция которых заключается в проникновении в трещину, образующуюся при проходе ролика и создании в ней расклинивающего давления (эффект Ребиндера), что способствует облегчению разлома. Наиболее часто в качестве расклинивающих жидкостей используются смеси углеводородов, в простейшем случае некоторые сорта керосина, которые обладают низким поверхностным натяжением и, вследствие этого, высокой проникающей способностью в магистральную трещину. Недостатками таких жидкостей является их высокая пожароопасность, способность образовывать с воздухом взрывоопасные смеси и токсичность.

Целью данной работы является исследование эффективности использования водных растворов различных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве основы расклинивающей жидкости для резки стекла.

Были исследованы ПАВ: олеат натрия, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) и препараты ОП-7 – смесь оксиэтилированных алкилфенолов, синтамид – смесь оксиэтилированных моноэтаноламидов и эмульфор – продукт реакции олеиновой кислоты и триэтаноламина. Надрез на образцах стекла толщиной 3 мм проводили твердосплавным роликом на лабораторной установке, обеспечивающей постоянство нагрузки. Дорожку, по которой наносился надрез предварительно смазывали исследуемой жидкостью. Эффективность действия жидкости оценивали по усилию разлома образца с надрезом при испытании на двухупорный изгиб.

Влияние различных жидкостей на усилие разлома стекла иллюстрирует приведенная диаграмма. Испытания проведены в сравнении со стандартной жидкостью для резки стекла АСЕСUT 5503 (Германия), применяемой на ОАО «Гомельстекло».



Зависимость усилия разлома стекла от типа применяемой расклинивающей жидкости:

1 – без жидкости; 2 – Na-КМЦ; 3 – олеат натрия; 4 – эмульфор;

5 – синтамид; 6 – ОП-7; 7 – АСЕСУТ 5503.

Концентрация всех растворов – 0,5 %

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения водных растворов ПАВ в качестве основы жидкостей для резки стекла.

УДК 548.24

МОДЕЛЬ ДИСЛОКАЦИИ В АМОРФНОМ МАТЕРИАЛЕ

О. М. Остриков

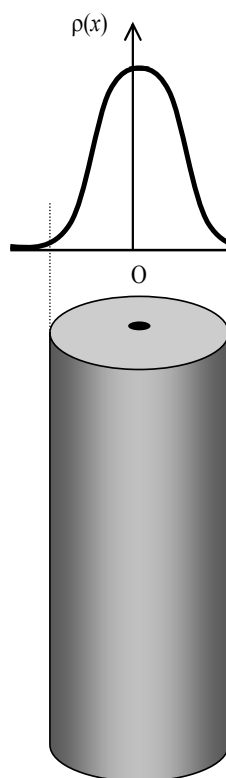
*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

В настоящее время дислокация в аморфном материале представляется таким образом, что вдоль ее линии вектор Бюргерса изменяется как по величине, так и по направлению [1]. Такое представление противоречит классическим представлениям о дислокациях, согласно которым вектор Бюргерса должен быть постоянен вдоль всей линии дислокации [2].

В работе [3] развивался квазидислокационный подход, согласно которому понятие дислокации использовалось лишь для удобства математического описания процессов деформирования аморфных материалов. При этом считалось, что реально такие дислокации в аморфном материале не существуют. Такой подход позволяет использовать большой накопленный в настоящее время опыт теории дислокаций в кристаллах.

В данной работе предлагается новая модель дислокации в аморфном материале, которая позволяет учитывать неупорядоченность структуры конденсированной системы, не имеющей дальнего порядка. Для этого было обращено внимание на первоосновы теории дислокаций, согласно которым напряжения, создаваемые дислокацией, определялись суперпозицией напряжений, формируемых точечными источниками напряжений, непрерывно распределенными вдоль линии дислокации.

В случае дислокации в аморфном материале предлагается распределить точечные источники напряжений не вдоль линии, а в цилиндре, как показано на рисунке, с плотностью $\rho(x)$.



Модель дислокации в аморфном материале

Это связано с тем, что неупорядоченность структуры аморфных материалов не позволяет рассматривать локализацию напряжений вдоль структурно оформленной линии дислокации. В аморфном материале можно лишь предполагать максимальную концентрацию точечных источников напряжений вдоль оси цилиндра. Тогда напряжения, создаваемые рассмотренной дислокацией в аморфном материале могут быть рассчитаны по формуле:

$$\sigma_{ij}(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x_0) \sigma_{ij}^0(x_0, z) dz ,$$

где σ_{ij}^0 – напряжения точечного источника.

Полагалось, что ось OZ направлена вдоль оси цилиндра.

Литература

1. Судзуки, К. Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото. – Москва : Металлургия, 1987. – 328 с.
2. Новиков, И. И. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки / И. И. Новиков, К. М. Розин. – Москва : Металлургия, 1990. – 336 с.
3. Верещагин, М. Н. Негомогенная пластическая деформация аморфных сплавов на основе железа: монография / М. Н. Верещагин, В. Г. Шепелевич, О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2004. – 134 с.

УДК 548.24

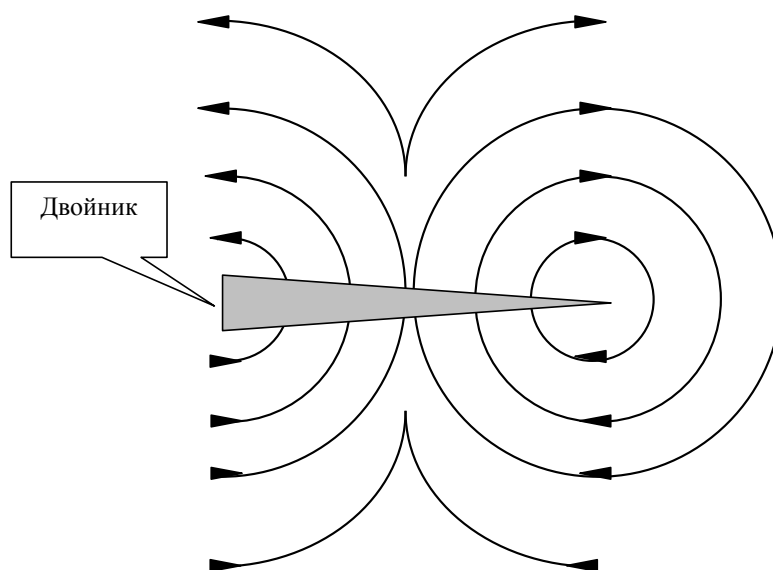
ПОТОКИ МИГРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ У КЛИНОВИДНОГО ДВОЙНИКА**О. М. Остриков***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Избыток примесных атомов в областях локализации напряжений повышает вероятность зарождения фазы, образование которой вдали от источников напряжений невозможно. Это интересно в плане разработки технологии целенаправленного формирования структуры и свойств материалов. В качестве концентраторов напряжений, в частном случае, могут выступать механические двойники, процесс зарождения и развития которых контролируется внешними напряжениями.

Изучить распределение примеси и определить потоки ее миграции у клиновидного двойника – сложная экспериментальная задача. Поэтому целесообразно использование математического моделирования процессов массопереноса в полях напряжений границ двойников.

Целью работы стало развитие макроскопической дислокационной модели клиновидного двойника и расчет на ее основе распределения примесей и потоков ее миграции у клиновидного двойника.

Результаты расчета потоков миграции примесей представлены на рисунке.



Потоки миграции у клиновидного двойника примеси, радиус которой меньше радиуса атомов матрицы

Установлено, что примесь у клиновидного двойника локализуется не только на двойниковых границах, но и в области удаленной (для двойника длиной 100 мкм это удаление имеет порядок 10 мкм) от средней части двойника. Потоки миграции примеси таковы, что она мигрирует по концентрическим траекториям к границам двойника и к средней ее части. Минимальная скорость дрейфа примеси наблюдается у границ двойника и в областях максимальной концентрации примеси.

УДК 537.226

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ И УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ ПОЛИМОРФНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Я. О. Шабловский, П. А. Сусло

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

Рассмотрим семейство кристаллов, изоморфных дигидрофосфату калия KN_2PO_4 (KDP), обладающих кристаллографической симметрией $\bar{4}2m$ в высокосимметричной фазе и симметрией $mm2$ в низкосимметричной фазе. Фазовый переход (ФП) $\bar{4}2m - mm2$ может быть описан одним параметром порядка, отождествляемым с компонентой вектора электрической поляризации, ориентированной вдоль полярной кристаллографической оси. Термодинамический потенциал, учитывающий изменение энергии при упругой деформации, имеет вид:

$$F = F_0 + \frac{1}{2}\alpha q^2 + \frac{\beta}{4}q^4 + Aq^2(u_1 + u_2) + Bq^2u_3 + \frac{1}{2}C_{11}(u_1^2 + u_2^2) + \frac{1}{2}C_{33}u_3^2 + C_{12}u_1u_2 + C_{13}u_3(u_1 + u_2) + C_{44}(u_4^2 + u_5^2) + \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12})u_6^2,$$

где $\alpha = \alpha_T(T - T_c)$; u_ν – компоненты тензора деформаций ($\nu = 1, 2, \dots, 6$); C – тензор упругих жесткостей.

Исходя из этой формулы, находим равновесное значение параметра порядка: в высокосимметричной фазе $q_0 = 0$, в низкосимметричной фазе $q_0 = (G\alpha)^{1/2}$.

Если в рассматриваемом случае исследуемый кристалл находится в поле упругой волны частоты Ω , то $\delta q \sim \exp(i\Omega t)$. Тогда находим при $T < T_c$

$$\left[iL\Omega + \left(\frac{\partial^2 F}{\partial q^2} \right) \right] \delta q = -2q_0 [A(\delta u_1 + \delta u_2) + B\delta u_3], \text{ откуда } q_0 = \sum_i \alpha_i \delta u_i,$$

где $\alpha_1 = \alpha_2 = -\frac{2q_0 A}{P}$, $\alpha_3 = -\frac{2q_0 B}{P}$, $\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0$.

Поскольку при $i = 4, 5, 6$ $\alpha_i = 0$, отсюда следует, что в результате ФП приобретают дополнительные («аномальные») приращения компоненты C_{ij} , где $i, j = 1, 2, 3$.

При этом

$$\Delta C_{11} = \Delta C_{22} = \Delta C_{12}; \Delta C_{13} = \Delta C_{23}.$$

Имеем:

$$\Delta C_{11} = -\frac{2A^2(1 + 2i\Omega\tau)}{\beta(1 + i\Omega\tau)^2}, \Delta C_{13} = -\frac{2AB(1 + 2i\Omega\tau)}{\beta(1 + i\Omega\tau)^2},$$

$$\Delta C_{33} = -\frac{2B^2(1 + 2i\Omega\tau)}{\beta(1 + i\Omega\tau)^2},$$

$$\Delta C_{44} = \Delta C_{66} = 0.$$

При $T \rightarrow T_c$ время релаксации $\tau \rightarrow \infty$, вследствие чего аномальные приращения ΔC_{11} , ΔC_{12} , ΔC_{22} , ΔC_{13} , ΔC_{23} и ΔC_{33} по мере приближения к точке ФП убывает до нуля. В то же время, компоненты тензора упругих жесткостей C_{44} и C_{66} в области ФП вообще не претерпевают никаких изменений.

УДК 535.016:548.75

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИАГ-ЛАЗЕРА С ПОВЕРХНОСТЬЮ МУЛЛИТОВОЙ И ФОРСТЕРИТОВОЙ КЕРАМИКИ

О. А. Стоцкая

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

А. А. Бойко, Е. Н. Подденежный

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

В. Стренк

*Институт низких температур и структурных исследований ПАН,
г. Вроцлав, Польша*

Метод лазерного напыления открывает большие возможности для получения тугоплавких многокомпонентных материалов в тонкопленочном виде для оптоэлектроники и солнечной энергетики [1]. Этот метод позволяет формировать оптически активные покрытия на различных подложках (полупроводниковых, диэлектрических) с меньшими материальными и временными затратами.

Тонкие пленки люминесцентных и лазерных материалов, таких как силикаты магния и алюминия, легированные ионами хрома перспективны для ряда применений в оптоэлектронике и полупроводниковой технике, однако их получение традиционными методами вакуумного напыления связано с проблемами нарушения стехиометрии и фазового состава.

В докладе приведены результаты исследования методов получения керамических образцов $Mg_2SiO_4:Cr^{4+}$ и $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2:Cr^{3+}$ в виде дисковых мишеней и изучение процессов взаимодействия излучения ИАГ-лазера с их поверхностью. Рассматриваются проблемы золь-гель синтеза ультрадисперсных порошков форстерита и муллита, а также поликристаллической форстеритовой и муллитовой керамики, содержащей оптически активные ионы хрома, установлена взаимосвязь переменных параметров процессов синтеза порошков и формования керамик с характеристиками получаемых материалов.

Золь для синтеза порошка муллита, легированного хромом, готовили из беми-та, аэросила А-380 и аэросила АХр3, модифицированного наночастицами оксида хрома с применением УЗ-диспергирования в водной среде с последующей нейтрализацией до рН = 9. Ксерогель подвергали термообработке по следующей программе: нагревание до 600 °С со скоростью 200 °С/ч и выдержкой 1 ч, затем нагревание до 800–1300 °С с той же скоростью и выдержкой при конечной температуре 2 ч.

Далее порошок прессовали в форме таблетки методом полусухого прессования с усилием 6 т. Аналогичным образом формировали лазерные мишени из порошка форстерита, легированного хромом. Отличие состояло в том, что в качестве источника диоксида кремния использовали золь SiO_2 с размером частиц 12,6 нм, магнием-содержащим сырьем служил ацетат магния.

Взаимодействие лазерного излучения с поверхностью керамических образцов изучали на установке ЛСА (ОАО «Завод Оптрон», Беларусь). В качестве источника энергии в установке используется твердотельный лазер на Nd:YAG типа LS-2131D. Длина волны излучения 1,06 мкм, энергия импульса излучения 80 Дж, частота повторения импульсов 1–10 Гц.

Изучена морфология и структура кратеров, образующихся на мишенях в результате воздействия лазерного излучения. Установлено влияние механической обработки поверхности мишеней на глубину лунки и ширину кратера, а также влияние легирующих примесей на эрозионные процессы.

Л и т е р а т у р а

1. Жигалов, В. С. Лазерные технологии / В. С. Жигалов ; под. ред. А. А. Лепешева. – Красноярск : [б. и.], 1998.

УДК 666.79.01.24

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АБРАЗИВНОГО АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СТЕКЛОСВЯЗКЕ

А. А. Бойко, Д. М. Авдеев, В. М. Кенько

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
НИЛ технической керамики и силикатов, г. Гомель, Беларусь*

Н. Е. Дробышевская

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

Эффективно работающий абразивный инструмент должен представлять собой саморегулирующуюся систему, в которой с течением времени происходит самозаточка рабочей поверхности в результате отрыва от связки отработанных зерен и обнажения новых режущих кромок для предотвращения затупления и засаливания поверхности инструмента. Поэтому одним из определяющих условий, обеспечивающих работоспособность инструмента является оптимальное соотношение между абразивным порошком и стеклокристаллической связкой, поскольку уменьшение объема связки ведет, с одной стороны, к повышению числа режущих кромок и уменьшению термических напряжений на границе зерно–связка вследствие различия их температурных коэффициентов расширения, а с другой – приводит к снижению прочности материала.

Цель работы – разработка модели алмазосодержащего абразивного инструмента на стеклокристаллической связке, позволяющей делать оценку минимальной объемной доли стеклосвязки, при которой стеклофаза образует непрерывный каркас и обеспечивает отсутствие контактных мостиков между алмазными зёрнами.

Для оценки объемной доли стеклосвязки X использована следующая модель:

1) алмазные зерна равномерно распределены по объему материала, разделены тонкими прослойками стекла; 2) прослойки стекла между абразивными зернами составлены из сферических частиц с радиусом r с плотной гексагональной упаковкой на поверхности зерен; 3) алмазные зерна аппроксимированы как тела вращения (анализ формы зерен по данным электронной микроскопии) с двумя состыкованными по окружности с радиусом R параболоидами с равными высотами H . В результате, получено выражение для расчета объемной доли монослоя сферических частиц в общем виде:

$$X = \frac{100}{(2V / vn) + 1},$$

где V – объем тела вращения; v – объем сферической частицы стекла; n – число окружностей, формирующих криволинейные треугольники при плотной упаковке. Для данного тела вращения объемная доля связующего может быть определена из выражения:

$$X = \frac{100r[(4H^2 + R^2)^{3/2} - R^3]}{4,97RH^3 + r[(4H^2 + R^2)^{3/2} - R^3]}, \text{ при } V = \pi R^2 H.$$

Для проверки «работоспособности» модели исследован разрабатываемый нами алмазосодержащий абразивный инструмент на стеклосвязке на основе порошка АСМ28/20 ($R = 20$ мкм, $H = 28$ мкм), а для частиц порошка стекла $r = 5$ мкм. В докладе приведены экспериментальные и теоретические данные по режущей способности, прочности, пористости разрабатываемого материала в зависимости от соотношения объемных долей порошка и связки.

Расчетным путем установлено, что объемная доля стеклосвязки в абразивном материале должна составлять 70–73 %; это хорошо согласуется с экспериментальными характеристиками абразива (оптимальный состав – 28 % алмазного порошка и 72 % стеклосвязки). Таким образом, построенная модель позволяет рассчитать минимальную долю стеклосвязки в алмазосодержащем абразивном материале, при которой стеклофаза образует непрерывный каркас.

УДК 666.59

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВОЛЛАСТОНИТА НА СТРУКТУРНЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАРФОРОВОЙ КЕРАМИКИ

В. В. Артамонов, Ю. А. Алексеенко, Е. Н. Подденежный

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

Керамические алюмосиликатные материалы, содержащие волластонит, перспективны для создания изделий электротехнического, строительного и конструкционного назначения. Так в работе [1] описано применение волластонитовых добавок в технологии производства фарфора с низкой температурой обжига. В состав массы входили (в %): волластонит 30–50, каолин 15–30, глина 0–3, свинцовая фритта 10–20. При температуре 920–1080 °С получен волластонитовый фарфор с нулевым водопоглощением, прочностью при изгибе 480–630 кг/см². По всем показателям волластонитовый фарфор близок к обычному фарфору, обожженному при температуре 1380 °С. Однако применение нескольких добавок: каолина, глины, а также опасного для здоровья свинецсодержащего стекломатериала не позволяет вышеуказанному способу найти

широкое применение в производстве. На ЗАО «Добрушский фарфоровый завод» в качестве индустриального отвала предлагается алюмосиликатный материал, содержащий 64,0 % SiO_2 , 22,8 % Al_2O_3 , примеси SiC, органики и воды, который в перспективе может явиться основой создания целой гаммы дешевых керамических материалов технического назначения. Идея введения в состав отходов производства фарфоровой посуды волластонита открывает новые возможности формирования композиционных материалов с улучшенными физико-механическими и структурными свойствами при пониженных температурах. Для природного волластонита (силикат кальция CaSiO_3) характерна игольчатая структура кристаллов, которая определяет основное направление его использования в качестве микроармирующего наполнителя. Эффективность применения волластонита в керамических изделиях связана с увеличением таких характеристик материалов, как механическая прочность, ударная вязкость, деформационная устойчивость и термостойкость (температура применения до 1200 °С). В данной работе в качестве упрочняющего компонента был использован волластонит марки FW-325 (НПФ «Кристалл», г. Санкт-Петербург) со средним диаметром частиц не более 13 мкм, отношением длины частицы к диаметру 3:1 и удельной поверхностью, равной 1,5 м²/г.

Методика проведения исследований предусматривала сравнительные испытания образцов, полученных полусухим прессованием с различным содержанием добавки волластонита (от 0 до 90 мас. %) и последующей термообработкой при 1200 °С.

Методами рентгенофазового анализа (РФА), растровой электронной микроскопии (РЭМ), оптической микроскопии, элементного микроанализа, дериватографии изучена структура, фазовый состав и морфология образцов материалов, полученных при термообработке от 100 до 1200 °С. Для сравнения приготовлены образцы керамического материала на основе волластонитового порошка без фарфоровых масс.

Установлена зависимость плотности, пористости и физико-механических характеристик от температуры спекания и процентного содержания волластонита в составе керамических масс. Изучена структура и морфология шлифов керамических композитов, определены области применения полученных материалов.

Литература

1. Демиденко, Н. И. Спекание керамических масс на основе природного волластонита / Н. И. Демиденко, Е. С. Конкина // Стекло и керамика. – 2003. – № 1. – С. 15–16.

УДК 666.3.015.4

ПРОБЛЕМЫ ЖИДКОФАЗНОГО СПЕКАНИЯ ТУГОПЛАВКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Е. Н. Подденежный, Е. И. Гришкова, С. Г. Жуковец

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
НИЛ технической керамики и силикатов, Беларусь*

Н. Е. Дробышевская, И. П. Кравченко

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

Е. Ф. Кудина, С. И. Тюрина

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

Керамика для лазеров, подложек интегральных схем и новых типов солнечных батарей характеризуется повышенными требованиями к плотности, термостойкости и прозрачности. Особенно это относится к коэффициенту рассеяния для лазерной керамики, связанному с наличием таких дефектов структуры, как границы зерен поликристаллов, остаточные поры, градиент состава внутри зерен, анизотропия керамического материала, дефекты решетки.

Одними из перспективных тугоплавких материалов для вышеуказанных применений являются оксид иттрия и алюминаты иттрия (гранаты и перовскиты). Основная трудность в процессе синтеза и кристаллизации керамики из иттрий-алюминиевого граната заключается в получении материала точного стехиометрического состава, равномерного распределения легирующих примесей и сложной технологии уплотнения лазерной среды, для чего используются методы шликерного литья и высокотемпературного вакуумного спекания в специальных печах.

В докладе приводится анализ путей удешевления технологии производства тугоплавкой керамики, разработка методик синтеза и спекания керамических материалов в воздушной среде при пониженных температурах, что может быть достигнуто путем использования в качестве исходных компонентов наноразмерных порошков, а также путем применения оксидных спекающих композитов сложного состава, содержащих одновременно и спекающую добавку и легирующий компонент.

С целью разработки методики синтеза наноразмерных составляющих оксидной керамической среды иттрий-алюминиевого граната в НИЛ ТКС ГГТУ им. П. О. Сухого исследовано образование ультрадисперсных частиц оксида иттрия путем растворения оксида иттрия марки Y_2O_3 OX 39-5N (Stanford Mat.Corp., USA), чистотой 99,999 % в кипящей азотной кислоте в течение 2 часов. Выход ультрадисперсного порошка оксида иттрия по массе составляет 78 %.

Данные растровой электронной микроскопии свидетельствуют о сильной многоуровневой агломерации частиц. Морфология частиц Y_2O_3 представлена плоскими «листами» размером до 10×10 мкм и толщиной около 20–50 нм, образующихся, по видимому, при первичной агломерации наночастиц. Для синтеза порошков иттрий-алюминиевого граната YAG разработана методика, заключающаяся в смешивании микропорошка Y_2O_3 OX 39-5N или нанопорошка Y_2O_3 наноразмерным коммерческим порошком Al_2O_3 (Merk, I 13,355), чистотой 99,6 %, средним размером частиц 19 нм, в среде этанола в стехиометрическом отношении, добавку спекающего и легирующего комплекса оксидов ($SiO_2-B_2O_3-Cr_2O_3$, $SiO_2-B_2O_3-Ce_2O_3$), прессование в

таблетку на прессе силой 6 Тс и последующее спекание в воздушной среде при температуре 1600 °С в течение 2 часов.

Предложены и апробированы три варианта технологии синтеза и спекания керамических сред в воздушной среде при пониженных температурах с использованием в качестве исходных компонентов микро- и наноразмерных порошков оксидов иттрия и алюминия и добавлением оксидных композитов сложного состава, содержащих одновременно и спекающую добавку и легирующий компонент.

УДК 678.026:620.197

АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ЕГО НИЗКОПЛАВКИХ АНАЛОГОВ

Н. В. Грудина

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

В. А. Пашинская

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

В последнее время возрос интерес к композиционным материалам и покрытиям различного функционального назначения на основе тонкодисперсных полиэтилентерефталата и его низкоплавких аналогов, благодаря их высоким физико-механическим и эксплуатационным свойствам. Опыт получения полиэфиров в дисперсном виде и использование их для покрытий различного типа показал, что формирование качественных систем возможно путем модифицирования полимеров и оптимизации условий их переработки. Повышенная жесткость и хрупкость получаемых пленок из ПЭТФ и его низкоплавких аналогов создают определенные трудности при получении покрытий высокого качества. В то время как отсутствие твердофазных превращений и широкий диапазон переработки термопластичных полиэфирных смол (ПЭФ) позволяют широко использовать различные технологические методы для получения композиционных материалов и покрытий с различным уровнем свойств.

В настоящей работе проведены исследования антифрикционных свойств покрытий, полученных из исходных тонкодисперсных ПЭТФ и его низкоплавких аналогов, а также композиционных составов на их основе. В качестве модифицирующих добавок использовали ПЭНД, ПЭВД, ПА-6, эпоксиполиэфирные композиционные составы ПЭП и ЭППК, графит коллоидный С-1, стабилизирующие добавки. Фрикционные характеристики (нагрузочная способность, коэффициент трения, температура в зоне трения) тонкослойных покрытий оценивалась по схеме вал – частичный вкладыш при скорости 0,5 м/с в условиях сухого трения и с подводом смазки. В качестве смазочных сред использовали дистиллированную воду, масло промышленное И-40, солидол и литол 24.

Проведен сравнительный анализ антифрикционных характеристик композиционных покрытий на основе ПЭТФ и его низкоплавких аналогов при работе без смазки и со смазкой. Показано, что модифицирование исходных материалов традиционными добавками такими как полиэтилен, позволяет увеличить нагрузочную способность с покрытий в 5–7 раз и снизить коэффициент трения почти в 3 раза при работе в условиях сухого трения. Однако при работе с использованием смазочных сред, ус-

тановлено, что более эффективными добавками для ПЭТФ и его аналогов служат полиамид, эпоксиполиэфирные порошковые композиции и графит. Введение их в композиции позволяет существенно улучшить антифрикционные характеристики покрытия: повысить нагрузочную способность с уровня 0,5 МПа до 10 МПа, снизить коэффициент трения с 0,32 до 0,021 и температуру в зоне трения со 110 °С до 60 °С.

Результаты исследований показали, что разработанные композиционные составы на основе ПЭТФ и его низкоплавких аналогов могут быть использованы в узлах трения, работающих как без смазки, так и в смазочных средах, а также существенно расширить области применения новых материалов и прогрессивных методов защиты деталей машин от износа.

УДК 621.891

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ

Ю. Е. Кирпиченко

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

Покрытия, получаемые осаждением тонких слоев карбидов, нитридов и оксидов металлов, а также т. н. алмазоподобные покрытия имеют хорошую перспективу применения для модификации поверхности металлорежущего инструмента и повышения износостойкости поверхностей трения. Уникальность физико-механических характеристик таких покрытий – твердость до 20 ГПа, стабильность служебных свойств при температурах до 1000 °С, обуславливает существенное отличие их фрикционного поведения по сравнению с традиционными триботехническими материалами этого класса. Поскольку известные методы не позволяют в полной степени учесть трибологические возможности таких покрытий, то целью работы являлось усовершенствование методики оценки триботехнических свойств твердосмазочных покрытий.

В работе представлен трибометр с возвратно-поступательным перемещением образцов и программно-технического комплекса, позволяющий проводить испытания в автоматическом режиме. Схема контакта сфера–плоскость позволяла реализовывать в зоне контакта упругие деформации с радиусом площадки контакта от 10 до 30 мкм. При этом давление в зоне контакта может достигать 700 МПа. Скорость скольжения изменялась от 1 до 20 мм/с, что исключало повреждение покрытий в результате фрикционного разогрева. Нагрузка на образцы составляла от 0,2 до 2 Н. Программа, предназначенная для обработки, хранения и представления в удобном для анализа виде данных фрикционных испытаний обеспечивала отображение на дисплее компьютера кинетику изменения коэффициента трения, падение напряжения на фрикционном контакте в реальном масштабе времени, а также видеомониторинг зоны трения в процессе эксперимента. Связь датчиков, регистрирующих параметры трения и компьютера производилась посредством специализированной платы аналого-цифрового преобразователя. В качестве образцов для испытаний использовались стальные пластины с хром-дисульфид молибденовыми (MoS₂-Ti) и хром-углеродными (Cr-C) покрытиями. Контртелом служили шарики из стали ШХ-15 диаметром 5 мм и шаровой сегмент из алмазота такого же диаметра.

Для обоих покрытий при использовании стального индентора наблюдается тенденция к снижению коэффициента трения по мере наработки. Такое поведение

фрикционных характеристик, очевидно, связано с изменением состояния поверхностей трения в процессе испытаний. После проведения эксперимента на вершине стального шарика обнаруживается пятно износа, а на поверхности плоского образца – дорожка трения, на концах и по краям которой накапливаются продукты износа. Характерной чертой является наличие пленок переноса на шарике, в особенности, в случае покрытия $\text{MoS}_2\text{-Ti}$. Перенесенной пленкой может быть занято более половины общей площади пятна износа. При этом несколько увеличивается площадь контакта, снижается среднее контурное давление. Формирующиеся пленки на контроле и на дорожке трения обеспечивают эффект самосмазывания. Покрытия $\text{MoS}_2\text{-Ti}$ проявляют такой эффект в большей степени, чем покрытия Cr-C . В то же время покрытия $\text{MoS}_2\text{-Ti}$ могут оказаться менее стойки в условиях высоких давлений.

Сходные результаты по износостойкости исследованных покрытий, но за более короткие промежутки времени, вследствие сохранения исходных значений давлений на площадке контакта в процессе испытаний, были получены при индентировании покрытий алмазотом.

УДК 670.191.33

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА КИНЕТИКУ УПРОЧНЕНИЯ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

П. О. Марущак, Д. Я. Баран, В. Б. Гладь

*Тернопольский государственный технический
университет имени И. Пулюя, Украина*

Анализ трещин, выявленных на поверхности ролика машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), снятого с эксплуатации, позволил идентифицировать их как трещины малоциклового усталости. Известно, что при малоциклового усталости циклическое деформирование приводит к граничному упрочнению материала, максимальному увеличению микротвердости и плотности дислокаций в малоугловых границах с последующим растрескиванием. В настоящее время используются биметаллические ролики МНЛЗ с защитным слоем из коррозионно-стойких высокохромистых ($\geq 12\text{--}13\%$ Cr) сталей. Несущий слой ролика изготавливают из стали 25X1M1Фл.

В данной работе выявляются основные закономерности влияния температуры испытаний на микромеханизмы деформирования сталей и оценки упрочнения материала методами твердости (микротвердости) и электронной просвечивающей микроскопии. Образцы с размером рабочей части $5\times 6\times 30$ мм, из сталей 15X13MФл и 25X1M1Фл, вырезанные в осевом направлении из биметаллической бочки МНЛЗ, испытывали на статическое растяжение. Испытания проводили при температурах $+20$, $+375$, $+600$ °С. Определяли истинное поперечное сужение $\tilde{\psi}$, для объектов, вырезанных из участков шейки разрушенных растяжением образцов. Методами электронной просвечивающей микроскопии исследовали эволюцию дислокационной структуры сталей после пластического деформирования. На основе анализа микродифракционных картин рассчитывали изменение плотности дислокаций в малоугловых границах. Поскольку пластическая деформация кристаллических тел осуществляется вследствие перемещения дислокаций, причем с увеличением деформации их количество и сопротивление перемещению возрастает (субструктурное упрочнение), численную оценку упрочнения материала проводили методом твердости (микротвердости). Твердость деформированных сталей исследовали на приборе «Супер Роквелл», микротвер-

дость на приборе ПТМ-3 с нагрузкой на индентор 0,1 Н. Массив данных для всех измеренных характеристик был 22...25 значений.

Увеличение плотности дислокаций в малоугловых границах и уменьшение размеров структурных элементов после деформирования растяжением повышают твердость (микротвердость) исследованных сталей, причем, более интенсивно после деформирования при температуре +20, +375 чем при +600 °С. Это связано с образованием при высокотемпературном деформировании дислокационных структур, которые имеют меньшую плотность дислокаций в малоугловых границах, а также влияние процессов термического поворота. При одинаковых значениях истинного сужения сталь 15Х13МФл упрочняется более интенсивно, чем 25Х1М1Фл, вследствие менее пластичной микроструктуры. В стали 15Х13МФл доминирует реечный мартенсит, параллельные рейки которого образуют пакеты мартенсита известные низкой пластичностью. Дополнительное упрочнение обеспечивают карбиды хрома, молибдена, ванадия, что содействует закреплению дислокаций. Сталь 25Х1М1Фл имеет более однородную и пластическую микроструктуру – мелкодисперсный сорбит отпуска. Выявлено, что с увеличением величины деформации материалу увеличивается плотность дислокаций в малоугловых границах, а также твердость (микротвердость) для обеих исследованных сталей.

УДК 621.88.084

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ УСКОРЕНИЕ МАКРОЧАСТИЦ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

П. И. Зубков

*Институт гидродинамики имени М. А. Лаврентьева СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

В. П. Зубков

ООО «Научно-техническая инициатива», г. Новосибирск, Россия

По мнению авторов при гидродинамическом, электродинамическом и холодном методах нанесения покрытий основным фактором, влияющим на адгезию и ее характеристики, являются скорость встречи частиц покрытия с преградой. В указанных методах разгон частиц покрытия происходит в высокоскоростных потоках газа, плазмы или продуктов газовой детонации. Взаимодействие ускоряющей среды оказывает существенное влияние на поверхностные свойства частиц (разогрев, плавление, химические реакции, изменение формы, размера и т. д.). В значительной степени уменьшить влияние ускоряющей среды удастся при центробежном ускорении частиц в вакууме. Наличие адгезии было проверено авторами при центробежном ускорении частиц покрытия до скорости 950 м/с. Получены металлические и керамические покрытия ряда металлов и сплавов.

Авторы доклада считают, что центробежное ускорение может быть применено для получения высокоскоростных потоков наночастиц при разработке нанотехнологий и, в частности, при использовании явления сверхглубокого проникновения.

При центробежном ускорении частиц основными факторами, влияющими на максимальную скорость частиц покрытия, являются прочностные и инерционные свойства материала центробежного ускорителя и его геометрия. Современные материалы могут позволить получить максимальные скорости частиц покрытия в несколько км/с. Развиваемые при встрече частиц покрытия с преградой давления могут достигать сотен тысяч атмосфер, плотность энергии, запасенной в разогнанных до

максимальной скорости частицах, порядка плотности энергии в конденсированных взрывчатых веществах. Указанные характеристики потоков высокоскоростных частиц могут использоваться не только для нанесения покрытий, но и для разрушения частиц и проведения химических превращений в твердых телах. Кроме того, высокоскоростные потоки частиц, ускоренных в вакууме в поле центробежных сил, могут найти применение в широкой области физических исследований, например, для преобразования энергии и генерации мощных электрических импульсов.

Авторы считают, что центробежное ускорение может быть с успехом применено для получения высокоскоростных потоков частиц из органических соединений.

УДК 621.91.01

О ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ОШИБКАХ ТЕОРИИ БАЗИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ю. А. Новосёлов

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

Теория базирования и вводимая ею символика являются своеобразным средством бесконтактной передачи в концентрированном (символьном) виде информации от технолога, разработавшего технологический процесс на деталь, к конструктору станочных приспособлений, на которых эта деталь будет обрабатываться. Такой подход четко разделяет ответственность за качество изготовления детали между технологом и конструктором. Между тем теоретические основы базирования, регламентируемые в настоящее время стандартами [1] и [2], а также научно-технической литературой, их интерпретирующей, имеет целый ряд серьезных принципиальных неточностей и ошибок, создающих на практике ряд технических проблем. Сформулируем эти недостатки в виде тезисов.

Оба стандарта касаются одной и той же проблемы (базирования) и вышли в свет почти в одно время, а создается впечатление, что их принципиальные концепции не только не совпадают, но даже и не пересекаются.

Стандарт [1] вводит систему теоретических положений, представляющих собой логическую основу базирования, и претендует на статус некоего абсолютного пособия по обучению технологов грамотному практическому решению всевозможных задач базирования с использованием опорных точек. Однако он содержит большое количество принципиальных логических ошибок, которые вводят в заблуждение и затруднительное положение технологов в области машиностроения.

Стандарт [2], практически перечеркивая предыдущий, предлагает технологам с целью базирования вместо опорных точек использовать большое количество разнообразных значков опор, зажимов и установочных устройств с жестко регламентированными их размерами. Суть этого стандарта выхолащивает из сознания и практики технологов теоретические основы (логику) базирования и заставляет технолога выполнять несвойственную им работу: указывать конструктору станочных приспособлений где, каких и сколько он должен поставить опор, зажимов и установочных устройств. Это приводит к тому, что в конструкциях приспособлений для обработки сложных деталей стали появляться опорно-зажимные элементы, в комплексе лишующие заготовку вплоть до 15 степеней свободы, что является полнейшим абсурдом – их же всего 6.

Лишение заготовки при базировании более шести степеней свободы создает на практике (в производственных условиях) немало трудностей: при возникновении брака поиск его причин представляет собой весьма значительную, а порой и реально неразрешимую производственную проблему.

В докладе будут рассмотрены многочисленные проблемные ситуации базирования с использованием макетов, плакатов и реальных деталей, и сформулированы основные концепции новой логики базирования в представлении автора.

Литература

1. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения.
2. ЕСКД. ГОСТ 3. 1107-81 (СТ СЭВ 1803-79). Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения.

УДК 539.4.019:621.792.44

ОКИСЛЕНИЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ИХ АДГЕЗИЕЙ К МЕТАЛЛАМ

Н. И. Егоренков

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

Полиолефины обладают хорошими антикоррозионными, антифрикционными, а также диэлектрическими свойствами и широко применяются в качестве покрытий на металлах. Основной проблемой полиолефиновых покрытий является их плохая адгезия к металлам, обусловленная неполярностью макромолекул. Для улучшения адгезии полиолефинов используют их окисление, нанося покрытия в среде воздуха при температурах выше 400 К (например, порошковое напыление).

Термическое окисление полиолефинов является автокаталитическим процессом, сопровождающимся накоплением в макромолекулах кислородсодержащих групп (карбонильных, карбоксильных, гидроксильных и др.), деструкцией и химическим сшиванием макромолекул. Это приводит к появлению полярности у макромолекул полиолефинов, изменяет их способность к кристаллизации, ведет к изменению количества и перераспределению в объеме содержащихся в полимере низкомолекулярных веществ (ингибиторов, пластификаторов и др.) и т. д. Скорость окисления полимера зависит от парциального давления кислорода, наличия в полимере антиоксидантов, активности металла к окислению полимера.

Адгезия покрытий к металлу характеризуется, как правило, прочностью их сцепления с ним (прочностью адгезионного соединения). Прочность соединения, являясь механической характеристикой, зависит не только от взаимодействия макромолекул полимера с металлом (межфазных сил), но и когезионных (механических) свойств полимера и металла, наличия в зоне контакта низкомолекулярных веществ, метода испытаний и других факторов. Иначе говоря, прочность адгезионного соединения является многофакторной величиной. Многие из этих факторов зависят от технологии получения покрытий (температурно-временного режима, среды формирования, толщины покрытия и др.).

Два фактора, связанные с окислительными процессами, оказывают решающее влияние на прочность адгезионного соединения: появление в составе макромолекул полярных групп, увеличивающих адгезию полимера к металлу, и появление низкомолекулярных соединений (продуктов деструкции макромолекул), формирующих непрочный слой между полимером и металлом. Количество низкомолекулярных со-

единений в зоне металлополимерного контакта зависит не только от степени окисления граничащего с металлом слоя полимера, но и диффузии в эту область низкомолекулярных продуктов окисления поверхностного слоя покрытия, степени фракционирования полимера в процессе кристаллизации покрытия.

Окисление поверхностного слоя покрытия протекает в кинетическом, а граничащего с металлом слоя полимера – в диффузионном режиме. Поэтому существенное влияние на окисление граничащего с металлом слоя полимера оказывает толщина покрытий и температура их формирования, определяющие парциальное давление кислорода в зоне металлополимерного контакта. Благоприятные условия для получения полиолефиновых покрытий с высокой адгезией возникают при наличии в зоне контакта катализатора окислительных процессов (введение пероксидных соединений, использование каталитически активных металлов и т. д.).

В работе сформулированы основные положения окислительного управления адгезионными свойствами полиолефиновых покрытий на металлах.

СЕКЦИЯ В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

УДК 621.787

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВДАВЛИВАНИЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. П. Моргунов, Я. М. Стрек

Омский государственный технический университет, Россия

В. А. Глушец

*Омский филиал Новосибирской государственной академии
водного транспорта, Россия*

Метод конечных элементов (МКЭ) в настоящее время является одним из основных методов при решении задач механики деформируемого твердого тела посредством численных алгоритмов [1]. В основе метода лежит дискретизация объекта с целью решения уравнений механики сплошной среды в предположении, что эти соотношения выполняются в пределах каждой из элементарных областей. Эти области называются конечными элементами. Они могут соответствовать реальной части пространства, как, например, пространственные элементы, или же быть математической абстракцией как элементы стержней, балок, пластин или оболочек. В пределах конечного элемента назначаются свойства ограничиваемого им участка объекта. Это могут быть характеристики жесткости и прочности материала, плотность. Описываются поля интересующих величин (применительно к механике твердого тела – это перемещения, деформации, напряжения). Параметры из второй группы назначаются в узлах элемента, а затем вводятся интерполирующие функции, посредством которых соответствующие значения можно вычислить в любой точке внутри элемента или на его границе. Задача математического описания элемента сводится к тому, чтобы связать действующие в узлах факторы. В механике сплошной среды – это перемещения и усилия. Рассмотрен прямой метод построения уравнений, связывающих эти факторы в пределах конечного элемента, в предположении линейной постановки. Применяя численное интегрирование, которое заключается в замене интеграла суммой произведений подынтегральных выражений, вычисленных в точках Гаусса или в некоторой другой системе точек на соответствующие весовые коэффициенты, можно выполнить расчет величины определителя якобиана. Отрицательная величина является следствием вырожденности данного конечного элемента.

Приведены примеры конечных элементов, присутствующих в COSMOSWorks на рисунках: объемный тетраэдральный с линейным полем перемещений в пределах ограничиваемой им области, объемный тетраэдральный с параболическим полем перемещений, треугольный элемент оболочки с параболическим полем перемещений и полем углов поворота.

Метод позволил вычислить поля деформаций и напряжений в объеме элемента на базе перемещений в узлах. Построен алгоритм МКЭ.

Рассмотрена пространственная модель процесса деформирования с целью определения влияния параметров процесса вдавливания деформирующего элемента на формирование многоуровневого микрорельефа [2].

Литература

1. Алямовский, А. А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике [текст] / А. А. Алямовский [и др.]. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
2. Пат. 2182093 Российская Федерация, В 61К 3/00. Способ повышения износостойкости рельсов и реборд колес железнодорожных транспортных средств / А. П. Моргунов, В. Б. Масыгин, В. В. Деркач; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. – № 2000121137/28.

УДК 621.855

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЦЕПНОГО ПРИВОДА
КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫМИ РЕЖИМАМИ
РАБОТЫ СИСТЕМЫ**

О. И. Пилипенко, Д. А. Ильин

*Черниговский государственный технологический университет,
Украина*

Механическая часть автоматизированного цепного привода по отношению к его электрической части является объектом управления, которое обеспечивает режимы движения системы, оптимальные по тем или иным показателям технологического процесса сборки и ее электрической и механической частей. Поэтому правильные представления о физических свойствах механической части цепного привода имеют важное значение для представления обобщенного математического описания и составления обобщенной структурной схемы, отражающей все влияющие особенности.

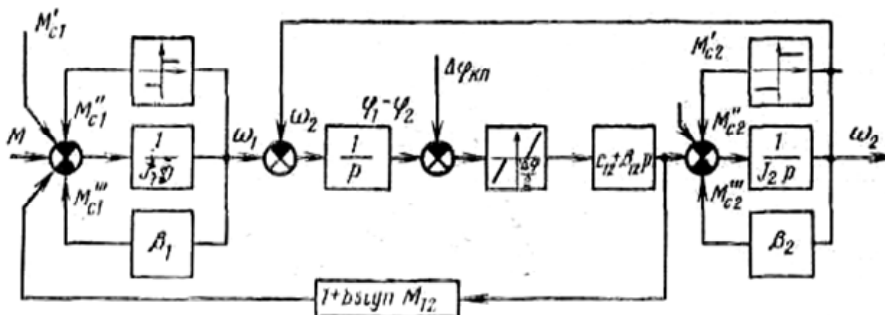
Во многих случаях возникает необходимость учета естественных диссипативных сил, присутствующих в реальной кинематической цепи цепного привода. Рассмотрено влияние динамических нагрузок в цепной передаче на действующие в ней моменты потерь на трение. Анализ влияния кинематических погрешностей цепной передачи, в частности полигонального эффекта звездочек, показал, что этот фактор влияет на динамические нагрузки механической части привода.

С учетом всех перечисленных факторов система уравнений движения механической части цепного привода может быть записана в следующем общем виде:

$$M - M'_{c1} - M''_{c1} - M'''_{c1} - M'_{12}[1 + b \text{sign} M_{12}] = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \tag{1}$$

$$M'_{12} - M'_{c2} - M''_{c2} - M'''_{c2} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}.$$

Системе (1) соответствует обобщенная структурная схема механической части электропривода, приведенная на рисунке.



Обобщенная структурная схема механической части цепного привода

Эта схема учитывает важнейшие факторы, влияющие на динамические механические процессы в электромеханической системе автоматизированного цепного привода. Схема наглядно показывает, что механическая часть цепного привода представляет собой объект управления с существенными нелинейностями. Чаще всего при исследованиях цепного привода не возникает необходимости в одновременном учете всех факторов и нелинейностей, представленных в схеме на рисунке, так как обычно при конкретном анализе цели исследования определяют и ограниченное число факторов, представляющих наибольший интерес. Однако во многих задачах возникает необходимость использования этой схемы в полном виде без упрощений. Для решения таких задач следует использовать новейшие пакеты симуляции для компьютерного моделирования динамики цепного привода.

УДК 621.31.02

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Н. Н. Пилипенко, А. В. Кузьмицкий

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

Тяговое сопротивление вибрирующих рабочих органов можно уменьшить в результате снижения трения, возникающего при движении пласта почвы по рабочей поверхности клина. Для этого лемех во время работы должен совершать такие колебания в продольно-вертикальной плоскости.

Экспериментами установлено, что с использованием вибраций в плугах значительно уменьшаются трение скольжения почвы по лемеху и отвалу, являющейся основной составляющей в общей величине тягового сопротивления, и залипания рабочих органов. В связи с этим в последнее время появилось много конструкций плугов с вибрирующими рабочими органами.

Вибратор, выполненный в виде сектора, представляет собой неуравновешенную массу, создающую при вращении центробежное усилие, составляющее около 500 кг при общем весе вибратора 1 кг. Под влиянием развиваемого вибратором центробежного усилия возникает вибрация (колебания) ротора, передаваемая на укрепленную в шарнирах часть отвала. Вибрации с частотой 2800 колебаний в минуту при амплитуде 2–3 мм препятствуют прилипанию почвы к отвалу.

Принцип работы виброкорпуса: импульсы тока подаются на катушку электромагнита вибратора, заставляя притягиваться якорь вместе с подвижной частью рабочего органа с частотой 50 кол/сек. В период отсутствия импульсов тока под действием реакции почвы рабочего органа направлены нормально к лезвию лемеха.

Принцип работы вибрационного плужного корпуса, автоматически настраивающегося на оптимальный режим в зависимости от удельного сопротивления почвы, заключается в следующем: сопротивление, действующее на плужный корпус, через систему рычагов вызывает сжатие пружины оптимизатора и переключающий рычаг поворачивает храповик до замыкания контакта. При замыкании контакта включается реверсивный двигатель, управляющий рычагом вариатора. При изменении сопротивления корпуса реверсивный двигатель меняет направление вращения, изменяя тем самым количество оборотов вибратора и поддерживая оптимальные параметры вибрирования.

Системы самонастраивания плуга на оптимальный режим очень сложные и громоздкие. Для этой цели необходима более компактная схема управления с частотой включения не менее 50 Гц. Этим требованиям удовлетворяют схемы управления на полупроводниках (тиристорах). Эти приборы имеют ряд существенных преимуществ:

- в 10 раз меньшее падение напряжения в проводящем состоянии;
- значительно меньшие габариты и вес;
- высокая механическая прочность, долговечность, простота конструкций, высокая стойкость к воздействию ударных и вибрационных ускорений и возможность работы в любых положениях в пространстве;
- большой интервал рабочих температур от -50 до +150 °С ;
- небольшие временные характеристики (время включения 2–5 мк/с, выключения мк/с).

На легких и средних почвах тяговое сопротивление снижалось на 20–30 %, а на особо тяжелых до 50 % (при оптимальных режимах вибрирования).

На данном этапе развития конструкций вибрационных плугов главной задачей является создание системы регулирования вибраций, автоматически настраивающейся на оптимальный режим в зависимости от удельного сопротивления почвы и скорости движения орудий.

УДК 677.051/.052: 677.022.668

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НИТЕЙ С РАЗРЕЗНЫМ ВОРСОМ

А. В. Локтионов, А. В. Буткевич, Р. А. Васильев

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

Технологии формирования нитей достаточно разнообразны. Это обуславливается тем, что процесс прядения непрерывен, хотя волокна имеют различную длину, хаотично расположены в продукте и связаны между собой силами трения и сцепления. Процесс прядения состоит в последовательном преобразовании структуры полуфабрикатов, при котором каждая последующая стадия характеризуется новой структурой, расположением волокон и связями между ними. На основные этапы технологического процесса влияют различные факторы: природная извитость волокон, неровнота по основным физико-механическим параметрам, которые сложно описать математически.

В текстильной промышленности широкое распространение получили различные виды фасонных нитей (петлистые, узелковые). Наиболее сложным в технологическом процессе получения фасонных нитей является процесс формирования продукта с разрезным ворсом (нити «Синель»). Базовая технология получения данных нитей и оборудование для ее реализации имеет ряд существенных недостатков. Процесс формирования нити происходит на существующем оборудовании со скоростью до 30 см/мин. Это обуславливает малую производительность процесса и, как следствие, значительную себестоимость выпускаемой нити. Использование плоских ножей, совершающих возвратно-поступательное движение, усложняет кинематику машины и приводит к технологическим остановкам. Авторами разработана технология и предложено оборудование, позволяющее стабильно формировать данный вид нитей широкого диапазона линейных плотностей с удовлетворительной производительностью.

Аналитическое описание технологических процессов получения нити позволило оценить влияние тех или иных факторов на качество нити, прогнозировать результаты переработки продукта и проектировать новые процессы. Установлено, что одной из основных задач при получении нити с разрезным ворсом является формирование волокнистого полуфабриката требуемой формы и структуры. Нить при этом движется по формирующей поверхности по спирали с переменным шагом. Для разработки нового технологического процесса необходимо разработать аналитическое описание основных этапов формирования многокомпонентной фасонной нити. Описание ее движения позволит определить силы натяжения нити, что обеспечит снижение ее обрывности. Задача определения формы и натяжения вращающейся нити имеет не только теоретический интерес, но и прикладное значение. Правильная заполняемость ворсового компонента позволяет получить фасонные нити с разрезным ворсом требуемого качества.

Рассмотрев, с учетом сопротивления среды, вращение гибкой нити вокруг формирующей поверхности круглой формы и, считая воздушную среду однородной, при равномерном вращении и навивании на сборную поверхность, получены расчетные зависимости, позволяющие оценить оптимальность заполнения фасонной нитью ворсовой поверхности, и получить нити требуемого качества, обеспечить формирование нитей с разрезным ворсом линейной плотности 60–1000 текс со скоростью формирования до 10 м/мин.

УДК 677.026.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛЬНОСОДЕРЖАЩИХ НЕТКАНЫХ ПОЛОТЕН

А. В. Локтионов, Т. А. Мачихо, С. В. Жерносек

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», Беларусь

Себестоимость продукции на 60–70 % зависит от стоимости сырья. Снижение себестоимости нетканого полотна возможно при замене дорогостоящих волокон шерсти и хлопка дешёвыми льняными отходами.

Одной из основных технологических операций при производстве нетканых материалов является операция смешивания. При смешивании волокнистых компонентов льносодержащих смесей необходимо равномерное распределение волокон с разными свойствами внутри каждого компонента и каждого компонента во всей смеси. Различают неорганизованный и организованный способы смешивания. Неорганизованный способ смешивания осуществляется в камерах питателей с игольчатыми решетками и при сгущении формируемого волокнистого слоя. Организованный способ смешивания осуществляется как сложением разных потоков волокон при продольном их соединении, так и циклическим сложением одного потока. При этом в каждом поперечном сечении формируемого потока число волокон компонентов равно суммарному числу отдельных складываемых компонентов.

Комбинация организованного и неорганизованного способов ускоряет и улучшает смешивание компонентов, различающихся по своим свойствам, обеспечивая наибольшую вероятность получения случайного распределения частиц смеси. При смешивании необходимо получить более равномерные по составу и по свойству продукты заданной себестоимости и качества, обеспечивая при этом требуемую произ-

водительность технологических операций. При производстве нетканых материалов смешивание осуществляется сгущением волокнистого продукта при аэродинамическом воздействии на формируемый настил. Наиболее простая схема формирования настила осуществляется в прямой шахте, куда подается волокнистый материал и осаждается в процессе движения на сетчатый конденсор.

Для аналитического исследования процесса смешивания отходов льняного волокна на базовом оборудовании, предназначенном для переработки шерсти, необходимо установить закон распределения волокнистой массы по объему шахты. Установлено, что при загрузке волокнистой массы в любой части конденсора настил неравномерен и является функцией координат и времени. Поэтому описать аналитически в общем случае процесс выравнивания настила, происходящего в трех направлениях, достаточно сложно. Предложен упрощенный анализ процесса формирования настила в холст, при котором отсутствует неравномерность волокнистой массы в поперечном и вертикальном направлениях. Из полученного уравнения следует, что загрузка с увеличением скорости решетки уменьшается по параболической зависимости, а конденсор работает более интенсивно на выходе волокнистой массы из камеры и менее интенсивно при входе ее в камеру. Для интенсификации работы конденсора в зоне входа волокон в камеру рекомендовано создать воздушный поток, перераспределяющий воздушно-волокнистую массу внутри конденсора.

Аналитическое определение оптимальных параметров скорости настила на поверхности конденсора и массы волокна в камере смесовой машины, полученное уравнение, описывающее процесс смешивания льняных технологических отходов представляют упрощенную модель формирования волокнистого холста на оборудовании для переработки шерстяных волокон.

УДК 621.313.322

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Д. Ю. Кочетыгов

АКБ «Якорь», г. Москва

Одним из перспективных электромеханических преобразователей систем электроснабжения для летательных аппаратов являются высокооборотные бесконтактные генераторы с коммутацией магнитного потока. Частота вращения подобных машин достигает 100..150 тыс. об/мин при относительно небольшом ресурсе работы, что обеспечивает хорошие массоэнергетические показатели.

Руководствуясь спецификой применения электрических машин на летательных аппаратах, проведен предварительный сравнительный анализ индукторных машин и генераторов традиционного исполнения. Оценены положительные и отрицательные стороны их использования. На основании этого анализа для дальнейшего проектирования был выбран генератор с коммутацией магнитного потока с возбуждением от постоянных высокоэнергетических магнитов.

При разработке, проектировании и конструировании подобных генераторов возникает ряд проблем. Необходимо обеспечивать их прочность, условия охлаждения, надежность работы в течение заданного промежутка времени.

Конструкция генератора включает в себя набранный из листов электротехнической стали зубчатый ротор-индуктор, постоянные магниты и якорь с рабочей об-

моткой, состоящей из двух частей, и также набранной из листов электротехнической стали. При малом ресурсе работы в несколько минут используются подшипники с консистентной смазкой.

Принцип действия генераторов с коммутацией потока, являющихся машинами индукторного типа, основан на изменении магнитной проводимости рабочего зазора. Это требует выполнения зазора между статором и ротором минимальной величины. Как следствие, ротор должен быть точно сбалансированным после инсталляции в статор.

Одними из рациональных машин по простоте конструкции и массогабаритным показателям являются однофазные генераторы с коммутацией магнитного потока. Номинальная мощность подобных генераторов составляет порядка сотен ватт. Привод генераторов обычно осуществляется от газовых турбин, выполняемых в общем корпусе с генератором.

В докладе рассмотрены пути решения проблем проектирования и конструирования подобных машин на основе использования аппаратных и программных средств вычислительных машин. Предварительный расчет генератора выполнен традиционными методами. Определены главные геометрические размеры – диаметр, осевая длина ротора и величина рабочего зазора. Методом конечно-элементного анализа исследована и спроектирована магнитная система с рабочими обмотками. В среде Cosmos Works выполнены прочностные расчеты деформации ротора при номинальной и предельной частотах вращения. Рассмотрен вентиляционный и тепловой расчет машины. Проведен анализ рациональных конструктивных решений, обеспечивающих требуемый минимальный рабочий зазор. Рассчитаны размерная цепь, система допусков и посадок с учетом тепловых и механических деформаций.

На основе проведенных расчетов и исследований разработана конструкция генератора.

Литература

1. Зечихин, Б. С. Электрические машины летательных аппаратов. Гармонический анализ активных зон / Б. С. Зечихин. – Москва : Машиностроение, 1983.

УДК 624.074.4.042.8

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК

А. С. Ковеня, С. М. Босяков

*НИРУП «Белавтотракторостроение» Национальной академии наук
Беларуси, г. Минск*

Белорусский государственный университет, г. Минск

Регулярные и нерегулярные пространственные стержневые конструкции, сетчатые оболочки и пластинки широко применяются в качестве машиностроительных элементов различного назначения, несущей базы технических систем и т. д. Их проектирование и расчет сопряжены со значительными вычислительными трудностями, обусловленными необходимостью использования заранее рассчитанных параметров сетчатой структуры поверхности и сложностью подготовки исходных данных. Поэтому целесообразным оказывается применение функциональных средств современных конечно-элементных программных комплексов, в частности, конечно-

элементного мультидисциплинарного пакета ANSYS. В настоящей работе отражены результаты моделирования сетчатой сферической оболочки и расчета ее напряженно-деформированного состояния при различных нагрузках и краевых условиях.

В качестве модуля для построения геометрической модели использован равносторонний сферический треугольник, представляющий собой одну из граней сферического икосаэдра. Путем разбиения каждой из двадцати граней сферического икосаэдра на шестнадцать треугольников на срединной поверхности сферы получен 320-гранник. При этом использованы пять различных типоразмеров сторон треугольников, участвующих в формировании сетчатой конструкции (размеры сторон криволинейных треугольников изменяются от 4,86 до 5,94 м при радиусе основания равном 18 м). В результате сформирована таблица, содержащая координаты 91 узла сферического купола со стрелой подъема, равной радиусу сферы. На рис. 1 представлена геометрическая модель, полученная после импорта соответствующего текстового файла в ANSYS.

Анализ библиотеки балочных конечных элементов показал, что при генерации конечно-элементного покрытия сетчатой оболочки наиболее целесообразным оказывается использование элементов «Pipe 20» и «Beam188», позволяющих учесть большие конечные деформации. На основании полученной дискретной модели выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния для различных нагрузок и способов закрепления. Так, на рис. 2 изображено распределение деформаций в жестко закрепленном куполе под действием сосредоточенной силы ($F = 1$ кН, $R/r/t = 133/127/6$ мм).

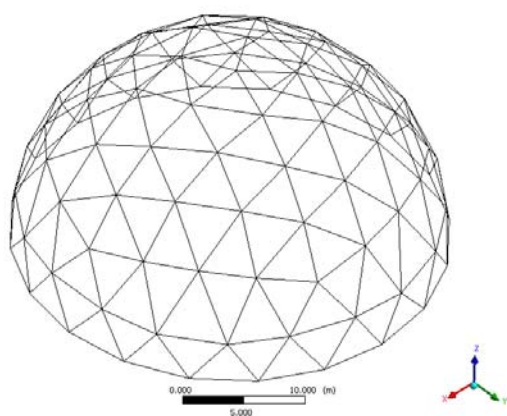


Рис. 1. Схема сферического сетчатого купола

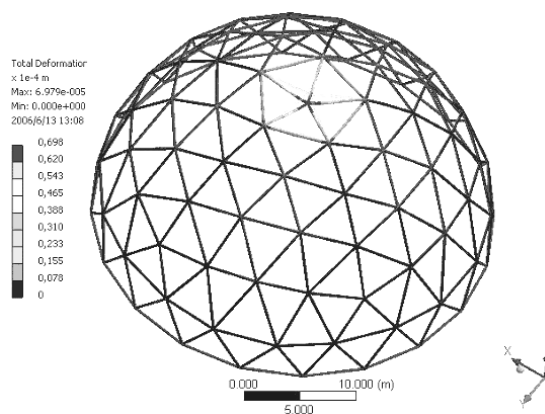


Рис. 2. Деформированное состояние купола

Описанный выше алгоритм обладает рядом преимуществ по сравнению с известными дискретными схемами, в частности, позволяет автоматизировать и рационализировать формирование геометрических моделей сетчатых оболочек.

УДК 536.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЛИЯНИЯ
НА НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
ТЕПЛООВОГО РЕЗОНАТОРА**

И. А. Концевой

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

Постановка задачи. Плоский металлический образец толщиной h имеет в начальный момент времени $t=0$ температуру $T=T^0(x)$ и тепловой поток $q=q^0(x)$. Граничные условия характеризуют один из трех типов теплового резонатора: 1) закрытый резонатор: $q(x=0,t)=q_0$, $q(x=h,t)=q_w$; 2) открытый резонатор: $T(x=0,t)=T_0$, $T(x=h,t)=T_w$; 3) полуоткрытый резонатор: $q(x=0,t)=q_0$, $T(x=h,t)=T_w$ (здесь q_0 , q_w , T_0 , T_w – постоянные величины).

Локально-неравновесное тепловое поле описывается системой уравнений [1]:

$$c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0; \quad q + \gamma \frac{\partial q}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - \rho \Omega \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{u} \frac{\partial q}{\partial x} \right), \quad t \geq 0, \quad x \in [0, h].$$

Теплофизические свойства материала следующие: $\lambda = \lambda_0 \exp(n_0 T)$, $c = c_0 \exp(n_1 T)$, $\gamma = \text{const}$. При $t \geq 0$ в образце происходят свободные колебания температуры и теплового потока, и при $t \rightarrow \infty$ устанавливается стационарное тепловое поле.

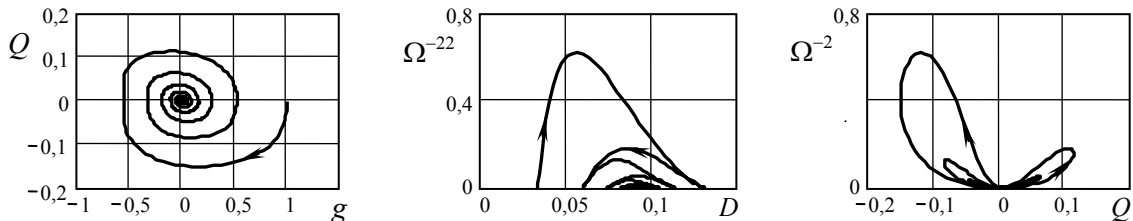
Все расчеты выполнены в безразмерных величинах. При обработке результатов

применяем следующие критерии: $Q = \frac{h q(x,t)}{T_w^0 \lambda(T_w^0)}$; $g = \frac{h}{T_w^0} \left(\frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right)$; параметр энергии

$E \equiv \frac{T c(T)}{\rho w^2(T)}$; параметр неравновесности $\Omega^{-2} = \frac{q^2}{u^2 w^2}$; параметр нелинейности

среды $D = \frac{T}{w^2} \frac{d(w^2)}{dT}$; $A_T \equiv A_T(x_i, t) = \frac{T(x_i, t)}{T_w^0}$; $A_q \equiv q(x_i, t)$, $x_i = ih/6$; $i = 0, 1, \dots, 6$. Ус-

тановлены качественные и количественные зависимости между критериями. Исследовано влияние времени релаксации γ , показателей степени n_0 , n_1 , характера начального распределения температуры $T=T^0(x)$ на амплитуды и на длительность затухания колебаний температуры и теплового потока. На рисунке показаны типичные фазовые портреты колебаний для полуоткрытого резонатора.



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

Литература

1. Шабловский, О. Н. Релаксационный теплоперенос в нелинейных средах / О. Н. Шабловский. – Гомель : УО «ГГТУ им. П. О. Сухого», 2003. – 382 с.

УДК 536.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ В СРЕДЕ С ОБЪЕМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Д. Г. Кроль

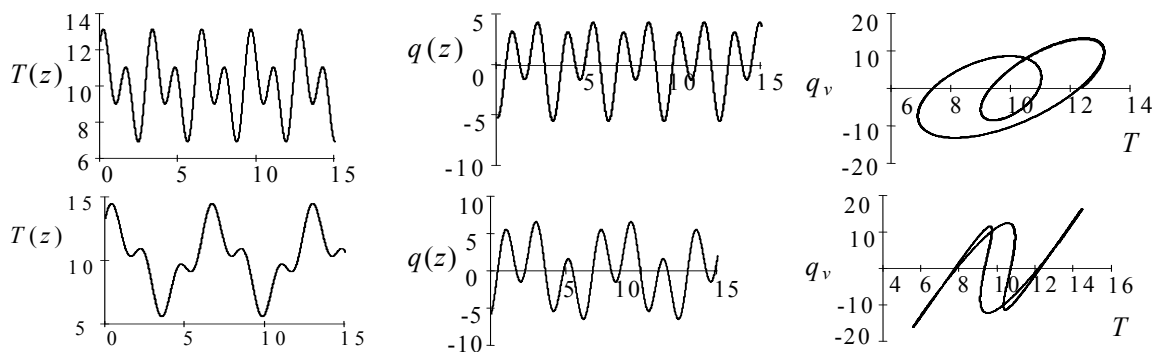
*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

В данной работе теоретически изучается воздействие объемного источника стока энергии на среду, обладающую локально-неравновесными тепловыми свойствами. Такие процессы представляют большой интерес для ряда современных физико-энергетических устройств. Важными для практики являются случаи немонотонной и (или) знакопеременной температурной зависимости источника $q_v(T)$.

Цель исследования: определение типичных для изучаемых сред зависимостей, при которых в системе «среда – источник энергии» происходит генерация периодических температурных полей. Математическая модель содержит уравнение Максвелла для теплового потока и уравнение баланса энергии:

$$q + \gamma_1 \frac{\partial q}{\partial t} = -\lambda \left[\frac{\partial T}{\partial x} + \gamma_2 \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \right], \quad c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = q_v,$$

где γ_1 – время релаксации теплового потока; γ_2 – время ретардации; остальные обозначения общеприняты. Современное состояние теории локально-неравновесного теплопереноса в нелинейных средах изложено в [1]. Были рассмотрены два варианта свойств среды: а) линейная локально-неравновесная среда с одним временем релаксации $\gamma_1 > 0, \gamma_2 = 0$; б) линейная локально-неравновесная среда с двумя временами релаксации $\gamma_1 > 0, \gamma_2 > 0$. Для этих типов сред изучены эволюционные процессы в классе автомодельных решений «бегущая волна», когда $T = T(z)$, $q = q(z)$, $z = x + bt$, $b \equiv \text{const}$. Применяемый алгоритм решения является обратным в том смысле, что сначала постулируется физически содержательная зависимость $T(z)$ либо $q(z)$. После этого определяется температурная зависимость источника энергии $q_v(T)$ и тем самым задача замыкается. Были проведены детальные многовариантные серии расчетов для названных типов сред. В частности, были изучены «дозвуковой» ($M < 1$) и «сверхзвуковой» ($M > 1$) процессы, где M – тепловое число Маха. На рисунке представлены в безразмерной форме два примера расчета для источника энергии в среде с одним временем релаксации.



Обнаружен гистерезисный характер зависимости $q_v(T)$ и другие интересные закономерности.

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

Литература

1. Шабловский, О. Н. Релаксационный теплоперенос в нелинейных средах / О. Н. Шабловский. – Гомель : УО «ГГТУ им. П. О. Сухого», 2003. – 382 с.

УДК 681.3.06: 624.13

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ТЕЛ

К. С. Курочка

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

Многие материалы обладают способностью медленно деформироваться во времени при постоянных напряжениях и температурах. Поэтому для наиболее адекватного моделирования конструкций, деталей машин и узлов необходимо учитывать данные свойства.

В данной работе предлагаются алгоритм и методика решения плоской краевой задачи теории вязкоупругости методом конечных элементов (МКЭ). При этом принимается гипотеза об упругости объёмных деформаций, а материал считается несжимаемым. Тогда между деформациями $\{\varepsilon\}$ и напряжениями $\{\sigma\}$ справедливы следующие соотношения:

$$\{\sigma\} = E[E_0]\{\varepsilon\} - \Gamma_c[E_0]\{\varepsilon\}, \quad (1)$$

где $[E_0]$ – матрица упругости в законе Гука в обратной форме; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; Γ_c – оператор сдвиговой релаксации, для деформаций ε_x будет иметь вид:

$$\Gamma_c = \int_0^t \Gamma_c(t, t_0) \varepsilon_x(t_0) dt_0, \quad (2)$$

где $\Gamma_c(t, t_0)$ – ядро сдвиговой релаксации.

Разобьём отрезок времени $[0, t]$ на k равных отрезков длиной Δt , представим интеграл (2) в виде суммы интегралов на отрезках $[t_{i-1}, t_i]$ и воспользуемся теоремой о среднем:

$$\Gamma_c = \sum_{i=1}^k \int_{t_{i-1}}^{t_i} \Gamma_c(t, t_0) \varepsilon_x(t_0) dt_0 = \sum_{i=1}^k \Gamma_c(t, \xi_i) \varepsilon_x(\xi_i) \Delta t \approx \sum_{i=1}^k \Gamma_c(t, t_{i-1}) \varepsilon_x(t_{i-1}) \Delta t, \quad (3)$$

где $\xi_i \in [t_{i-1}, t_i]$.

Воспользовавшись принципом возможных перемещений, зависимостями МКЭ между перемещениями и деформациями, соотношениями (1) и (3), после ряда преобразований, получим:

$$[K]\{g_i\} = \{R_i\}, \quad (4)$$

где S – площадь конечного элемента; $[B]$ – дифференциальная матрица. Получаемая на основании формул Коши, $[K] = S[B]^T E[E_0][B]$ – матрица жёсткости; $\{g_i\}$, $\{R_i\}$ – соответственно вектора узловых перемещений и сил для i -го интервала времени:

$$\{R_i\} = \{R_{i-1}\} + \Delta t S[B]^T [E_0] \sum_{c=1}^k \Gamma_c(t, t_{i-1}) [B]\{g_{i-1}\}.$$

Система линейных алгебраических уравнений (4) представляет собой основное уравнение МКЭ. Решая данную систему, получим деформации и напряжения, возникающие в вязкоупругом теле в любой момент времени от действия постоянной внешней нагрузки.

Согласно изложенного алгоритма было разработано программное обеспечение, проведена его верификация. С помощью созданного программного обеспечения было проведено моделирование напряжённо-деформированного состояния систем, состоящих из линейноупругих и вязкоупругих тел.

УДК 62-229.316.6, 658.512

КЛАССИФИКАЦИЯ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ВЫБОРА СХЕМЫ УСТАНОВКИ

С. А. Щербаков

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

Правильный выбор схемы установки заготовки определяет точность обработки для операции. Этот выбор делает технолог при проектировании техпроцесса механической обработки детали. Автоматизация этой задачи возможна путем формализации действий технолога, которые поддаются ей, и создания автоматизированной системы с элементами системы искусственного интеллекта.

Оптимальную схему установки можно определить в такой последовательности:

- 1) 1 – определение конструкторской схемы базирования для выдерживаемых на рассматриваемой операции параметров точности обработки;
- 2) 2 – определение необходимого комплекта баз;
- 3) 3 – выбор теоретической схемы базирования, оптимальной по точности для выдерживаемых параметров и по экономичности реализации в приспособлении;
- 4) 4 – выбор схемы установки, обеспечивающей наименьшие погрешности базирования и закрепления для выдерживаемых параметров точности.

Первый этап, выполняемый в результате анализа рабочего чертежа обрабатываемой детали, является решающим для остальных. Здесь определяют, какую систему координат выбрал конструктор на чертеже для задания расположения обрабатываемых поверхностей: прямоугольную, в которой задаются три взаимно перпендикулярные координаты, или полярную с двумя взаимно перпендикулярными линейными координатами и одной угловой.

На втором этапе для прямоугольной системы координат выбирается первый комплект баз – установочная, направляющая, опорная, а для полярной системы координат выбирается второй комплект баз – установочная, двойная опорная и опорная базы или третий – двойная направляющая, опорная и опорная. Выбор между

вторым и третьим комплектом баз производится по размерам определяющей базы (установочной или двойной направляющей).

Для выполнения третьего этапа предлагается классификация теоретических схем базирования по вышеприведенным номерам комплектов баз и сочетаниям в них баз по характеру проявления (явная база или скрытая). Это позволяет выделить 24 схемы теоретического базирования (сумма всех сочетаний из трех по два в трех комплектах баз), которые можно изображать комбинацией трех простых условных знаков, соответствующих трем базам выбранного комплекта баз. По схеме базирования определяется соответствующее ей множество схем установок в базе данных на четвертом этапе, с делением этого множества по признакам детали.

Для схемы установки важно, какой вид поверхности детали используется для установки: охватываемая она или охватывающая, располагаемая параллельно или перпендикулярно к определяющей базе комплекта, а также виды установочных элементов или базирующих механизмов и виды их поверхностей, контактирующих с явными базами заготовки, или материализующих ее скрытые базы, какие поверхности заготовки назначены под закрепление, вид поверхности зажимных элементов, направление усилия зажима и т. п. Перечисленные факторы приводят к большому разнообразию схем установок даже для одной детали. Множества схем установок для каждой из схем базирования будут большими или меньшими в зависимости от ряда факторов, но все они будут конечными, а значит и поддающимися «инвентаризации» и последующему автоматизированному анализу, рассмотрению и выбору.

УДК 681.3

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ

А. В. Петухов

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

Цель исследования – формализация проектирования технологических процессов изготовления опытных образцов зерноуборочной и кормоуборочной техники на этапе создания САПР ТП.

Анализ состава полных технологических решений показывает, что они состоят из ряда частных решений (описаний формируемых поверхностей, наименований операций, моделей оборудования, схем закрепления детали; текстов переходов, наименований и обозначений средств технологической оснастки). Частное решение определено, если известны его наименование, значение, набор и значения характеристик.

Оценка потребности в полном описании технологических решений для условий производства опытных образцов показывает, что при широкой номенклатуре, малых объемах и высокой квалификации исполнителей возникает задача поиска разумного компромисса между степенью детализации описания технологических процессов и временем, отводимым на их проектирование. При этом степень детализации описания зависит от сложности технологии и определяется тремя уровнями. Первый уровень предполагает маршрутное описание, второй – операционное, третий – описание траектории движения инструмента для формирования управляющих программ.

Множество частных технологических решений состоит из индивидуальных и типовых. Их соотношение определяет совершенство формализации процесса проектирования. Чем больше доля типовых технологических решений, тем выше формализм процесса проектирования.

Задача построения математической модели процесса принятия технологических решений состоит из следующих этапов:

1. Формирование базового множества F модели M .
2. Построение множества аксиом $\{A\}$ принятия типовых технологических решений.
3. Определение набора отношений $\{a\}$ на базовом множестве F процесса принятия типовых решений.

Описанная модель процесса принятия технологических решений была положена в основу САПР ТП опытных образцов, разработанную в РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике». Ее внедрение обеспечило повышение производительности проектирования в 7,8 раза.

УДК 658.512.011.56

О ПОДХОДАХ К АВТОМАТИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

В. С. Мурашко

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

В настоящее время, в условиях начавшегося роста производства и необходимости совершенствования методов планирования и управления производством, исследования в области математического моделирования производственных процессов вновь становятся актуальными.

В машиностроительном производстве технологические процессы изготовления изделий, входящих в них деталей, сборочных единиц расчленяются на отдельные операции, между которыми возможны прерывания процессов изготовления, вызванные необходимостью транспортировки деталей с одного участка на другой либо ожиданием очередной обработки на оборудовании, которое в данный момент занято другой работой.

В производстве серийного типа изготовление деталей организуется по принципу партионности. Запускаемая в производство партия деталей может содержать от нескольких штук до тысячи деталей одного вида. После обработки одной партии станок переналаживается на изготовление деталей другого вида либо на другую технологическую операцию обработки тех же деталей. Промежуток времени между запуском деталей в обработку и выпуском готовых изделий, при сборке которых эти детали используются, называется технологическим опережением [1], [2].

Проведено исследование математической модели определения оптимальной загрузки оборудования, алгоритмов и критериев эффективности задач упорядочения работ для одной и двух машин, а также частный случай для трех машин. Для этого был использован математический аппарат «Теория расписаний». Задачи теории расписаний для числа машин больше двух считаются NP-трудными, алгоритмы их решения достаточно трудные и трудоемкие и не всегда можно найти точное решение [3]. Для решения задачи с числом станков три и более предлагается использовать

или общее решение задачи Джонсона методом ветвей и границ, или алгоритм Литтла (решение задачи о коммивояжере), или функциональные уравнения Беллмана, или метод возвратной рекурсии.

Разработана программа OPTIMUL1 для автоматизации упорядочения работ на одном, двух и трех станках, а также решения задач оптимальной последовательности переналадок технологической линии и оптимальной последовательности горячей обработки деталей методом возвратной рекурсии. Инструментальным средством для создания программы OPTIMUL1 была использована система визуального проектирования Delphi с удобным графическим интерфейсом.

Л и т е р а т у р а

1. Татевосов, К. Г. Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии / К. Г. Татевосов. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 230 с.
2. Левин, А. И. Математическое моделирование в исследованиях и проектировании станков / А. И. Левин. – Москва : Машиностроение, 1978. – 184 с.
3. Конвей, Р. В. Теория расписаний / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. – Москва : Наука, 1975. – 360 с.

УДК 631.3: 519.87

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПЛЮЩЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ КОСИЛКИ-ПЛЮЩИЛКИ

В. Б. Попов

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

Механизм плющения (МП) косилки-плющилки предназначен для расплющивания растительной массы (РМ), подаваемой шнеком жатки. Качественное плющение сокращает срок сушки и одновременно улучшает потребительские свойства РМ.

В проекции на продольную плоскость симметрии косилки-плющилки МП представляет одноподвижный четырех или шестизвенный шарнирно-рычажный механизм.

Функциональная математическая модель (ФММ) механизма плющения формируется на основе формального описания процедур геометрического, кинематического и силового анализа плоского механизма, выполняемого при помощи известных теоретических методов. По результатам вычислительного эксперимента на ФММ для каждой структурной схемы МП определяются: координаты подвижных шарниров, аналоги угловых скоростей звеньев, передаточное отношение, передаточные числа (ПЧ) и реакции в шарнирах, однозначно характеризующие зависимость выходных параметров МП от толщины уплотненного слоя РМ между вальцами – Y .

Получено выражение для приведенной силы трения $F_{\text{тр}}^{\text{мп}}(Y)$, позволяющее определить нагрузку на пружину $F_C(Y)$, что делает возможным её рациональный выбор:

$$F_{\text{тр}}^{\text{мп}}(Y) = r \cdot f_m \cdot \left[\sum_i R_{0i}(Y) \cdot \varphi'_i(Y) + \sum_{ij} R_{ij}(Y) \cdot (\varphi'_i(Y) + \varphi'_j(Y)) \right], \quad (1)$$

$$F_C(Y) = C \cdot [S(Y) - S(Y_0)] + F_{\text{тр}}^{\text{мп}}(Y), \quad (2)$$

где $\varphi'_i(Y)$ – аналог угловой скорости i -го звена; $R_{ij}(Y)$, r , f – реакция в шарнире, его радиус и коэффициент трения, соответственно; C , $S(Y)$, $S(Y)_0$ – жесткость, текущее и начальное растяжение пружины, соответственно.

Давление верхнего вальца определяется усилием $P(Y)$, поджимающим подвижный верхний валец к РМ, а её к закрепленному нижнему вальцу:

$$P(Y) = \frac{F_c(Y)}{I(Y)}, \quad (3)$$

где $I(Y)$ – передаточное число МП.

Из приведенного выражения следует, что расплющивающее усилие обратно пропорционально передаточному числу МП, которое в основном определяет форму характеристики давления верхнего вальца в диапазоне изменения уплотненного слоя Y :

$$I(Y) = \varphi'_3(Y) \cdot U_{53}(Y) \cdot L_{55} \cdot \cos(\varphi_5(Y)), \quad (4)$$

где $\varphi'_3(Y)$ – аналог угловой скорости рычага; $U_{53}(Y)$ – передаточное отношение; L_{55} , φ_5 – длина звена и угол, образуемый \vec{L}_{55} с осью абсцисс, в правой системе координат.

Расчет выходных параметров вариантов схем МП показал, что усложнение его структуры обеспечивает более пологую характеристику плющения в диапазоне изменения Y . При этом идеальная характеристика представляет собой линию параллельную оси абсцисс.

Разработанная ФММ была использована при расчете выходных параметров и модернизации механизмов плющения косилки-плющилки прицепной КПП-4.2 и косилки самоходной КС-80.

УДК 621.91

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА

М. И. Михайлов

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

Целью работы явилось разработка статистической модели точности механизированного инструмента.

Динамическая точность сборного инструмента является интегральной величиной геометрических погрешностей входящих в него элементов и статической обусловленной силами трения, силами дисбаланса, массами, инерционностью элементов и т. д.

Для моделирования точности зафиксировали точку кромки СМП в выбранной системе координат и дополнили контуром инструмента, приняв что все элементы инструмента выполнены по номинальным размерам. Изменение базовых поверхностей или порядка расположения элементов системы крепления режущих пластин, с учетом погрешности изготовления СМП, приводит к новому предельному базовому их положению.

Разность между предельным базовым и номинальным положениями будет образовывать погрешность базирования СМП в корпусе сборного инструмента.

$$\Delta Y_{\delta} = Y_{\text{пр.б}} - Y_{\text{н}} = f(\delta, \mu_{i0}) - f_0(\delta_0). \quad (1)$$

Как известно, поверхности на которые устанавливается режущая пластина изготавливаются с погрешностью. Если учесть максимальные значения этих погрешностей и действие максимальных сил закрепления, то СМП займет предельное статическое положение.

В результате отличия предельного статического положения от номинального образуется номинальная погрешность позиционирования СМП в корпусе инструмента.

$$\Delta Y_{\text{н.п}} = Y_{\text{пр.с}} - Y_{\text{н}} = f(\delta, \mu_{ci}) - f_0(\delta_0) = f(\mu). \quad (2)$$

Номинальную погрешность позиционирования разложили в ряд Тейлора для того, чтобы получить удобные для вычисления функции:

$$\Delta Y_{\text{н.п}} = f(M_{\mu_1}, M_{\mu_2}, \dots, M_{\mu_n}) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(\mu)}{\partial \mu_i} \right)_0 \Delta \mu_i, \quad (3)$$

где первое слагаемое правой части и частные производные во втором слагаемом – постоянные величины, а нулевой индекс означает, что частная производная вычисляется для номинального значения параметров.

Второе приближение получается, если при разложении сохранить вторые и смешанные производные:

$$\Delta Y_{\text{н.п}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(\mu)}{\partial \mu_i} \right)_0 \Delta \mu_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 f(\mu)}{\partial \mu_i^2} \right)_0 \Delta \mu_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial^2 f(\mu)}{\partial \mu_i^2} \right)_0 \Delta \mu_{ij}^2. \quad (4)$$

Кроме того, разработаны статистические безразмерные модели, позволяющие производить структурный анализ точности механизированных инструментов. Эти модели рассчитают динамическую точность инструмента.

УДК 621.91

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПАЗА ДЕРЖАВКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗЦА

М. И. Михайлов, М. Р. Шейбак

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

Оптимизация конструкции составного режущего инструмента требует учета сложных граничных условий. Одним из критериев оптимизации является прочность, которую определяют по результатам численного анализа. Исследование напряженно-деформированного состояния выполнялось на трехмерных твердотельных моделях, в системе Pro/ENGINEER с последующим их экспортированием в программный комплекс конечноэлементных расчетов ANSYS Workbench. В ходе проведения исследования были проанализированы разнообразные варианты погрешности пазов для пайки в продольном направлении.

Для каждого варианта погрешности были выполнены по три модели:

- державки (выполненной на базе токарного проходного отогнутого резца);
- припоя;
- пластины.

Для уменьшения влияния таких параметров, как жесткость державки и твердосплавной пластины, они были приняты одинаковые по конструкции, с изменением продольного сечения паза под пайку.

Принято, что пластина выполнена из твердого сплава Т15К6, для которого модуль упругости первого рода $E = 502$ ГПа. На основе данных физико-химических свойств припоев для исследования были приняты осредненные характеристики: модуль упругости первого рода $E = 108$ ГПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,32$.

Разработана расчетная схема со следующими граничными условиями: установившийся теплообмен системы для принятых граничных условий, сечение твердосплавной пластины неизменно в продольном и поперечном направлениях.

Расчетная модель была разделена на элементы размеры которых составили:

- твердосплавная пластина – максимальный размер элемента 0,5 мм;
- припой – максимальный размер элемента 0,25 мм;
- державка резца – разбиение произведено по умолчанию (размер элементов принят системой).

В зонах контакта пластины, припоя и резца описан контакт (который не предусматривает перемещение контактируемых поверхностей друг относительно друга).

Державка резца закреплена на расстоянии 50 мм от ее края.

Для расчета приняты следующие условия: температура в зоне резания 400 °С, температура окружающей среды 19 °С, глубина резания $t = 1$ мм, подача $s = 0,5$ мм/об.

Были разработаны различные варианты продольного сечения припоя и максимальные эквивалентные напряжения в припое, появляющиеся из-за разного теплового расширения конструктивных элементов резца (что происходит из-за различных коэффициентов теплового расширения твердого сплава, припоя, материала державки резца).

Полученные результаты позволили произвести оптимизацию формы и размеров припоя в конструкциях напайного инструмента.

УДК 621.941.16

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗГОНА ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА С ЧПУ

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

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

При проектировании современных станков с ЧПУ необходим детальный анализ динамических характеристик шпиндельного узла. Шпиндельный узел представляет собой сложную динамическую систему, которая испытывает влияние разнообразных возмущений стохастического характера. Конструктивной особенностью шпинделя является наличие консольной части позади задней опоры шпинделя значительной массы, которая предопределяет интенсивные колебания шпинделя в области задней опоры и существенно влияют на точность обработки.

Изучение особенностей колебательных процессов представляет собой важную научно-техническую проблему. Ее решение разрешает существенно повысить показатели динамического качества шпиндельного узла.

Исследованию вибрационных характеристик шпиндельного узла посвящен ряд фундаментальных научных работ. В ряде работ рассмотрены колебательные процессы в области задней опоры шпинделя. Эффективным приемом исследований колебательных процессов шпиндельного узла является математическое моделирование. В ряде работ предложены математические модели и их программная реализация. Недостатком указанных работ являются учеты основных стационарных детерминированных динамических нагрузок в системе шпинделя станка.

Динамические нагрузки приводят к возникновению сложных колебательных процессов в динамической системе шпинделя и станка в целом. Эти колебательные процессы имеют стохастичный характер и бывают существенно нестационарными.

Исследование таких процессов связаны со значительными трудностями и нуждается в разработке специальных методик и алгоритмов. В данное время не существует общих подходов к моделированию нестационарных стохастичных процессов, которые имеют место в шпиндельных узлах. Поэтому разработка специальных математических моделей и их апробация являются актуальными.

Математическое моделирование вибрационных характеристик шпиндельного узла при воздействии нестационарных стохастичных динамических нагрузок выполнено на кафедре конструирования станков и машин НТУУ «КПІ». Моделирование выполнено для новых станков с ЧПУ, которые в данное время разрабатываются на станкостроительных предприятиях Украины.

Компоновка таких станков предусматривает наличие консольной части позади задней опоры шпинделя, на которой размещен вращающийся гидропривод зажима и шкив ременной передачи привода главного движения. Задняя опора шпинделя с вращающимся гидроприводом зажима представляет собой сложный узел, который насчитывает десятки деталей. При разработке математической модели выполнен анализ динамической системы шпинделя в области его задней опоры. Разработка динамической модели осуществлена в подвижной (вращающейся) системе координат, которая отвечает нестационарному движению шпинделя.

Перспективой дальнейших разработок математического моделирования вибрационных характеристик шпиндельного узла является применения методов имитационного моделирования динамических систем, с учетом случайных изменений упруго диссипативных параметров передней и задней опор шпинделя.

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТАБИЛИЗАЦИИ И СТЫКОВКИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ПОДВИЖНОСТИ ЖИДКОГО ТОПЛИВА В БАКАХ

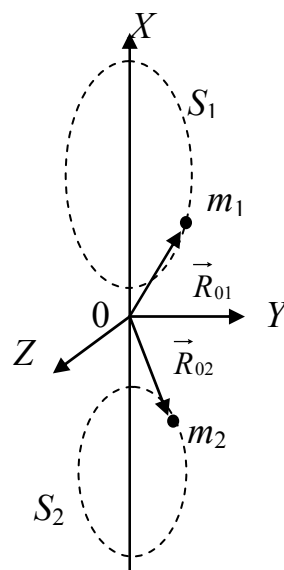
Г. Г. Ефименко, О. П. Клишев

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

Наличие жидкого топлива в баках космического аппарата накладывает дополнительные требования к наземной отработке его динамики при воздействии переменных перегрузок. Переменные силы действуют на космический аппарат при стабилизации его после отделения от носителя или после разворота, а также при стыковке к другому космическому объекту. В процессе наземной отработки важно правильно оценить динамическое воздействие на космический аппарат подвижной жид-

кой массы, ее влияние на переходные процессы и на управляемость объекта. В докладе изложен подход к составлению математических моделей космического аппарата, имеющего несколько баков, частично заполненных жидким топливом на рассматриваемых участках полета.

Для описания нелинейного движения жидкости в процессе стыковки и оценки его влияния на движение КА разработана приближенная инженерная математическая модель, которая представлена на рисунке, суть которой заключается в следующем: жидкое топливо в баках заменяются точечными массами m_i ($i = 1, 2 \dots n$), соответствующими массе топлива и совершающими движение внутри поверхностей S_i , представляющих собой геометрическое место центров масс жидкости в i -м баке.



Точечная масса m_i перемещаясь по поверхности S_i воздействует на твердое тело силой реакции \vec{R}_i , которая в общем случае может быть направлена произвольным образом, но так, чтобы выполнялось условие $\vec{R}_i \vec{n}_i > 0$, где \vec{n}_i – вектор внешней нормали к поверхности S_i в точке, в которой находится масса m_i . При выполнении условия $\vec{R}_i \vec{n}_i \leq 0$ точечная масса m_i отрывается от поверхности S_i и совершает свободное движение внутри этой поверхности, не взаимодействуя с твердым телом ($R_i = 0$) до тех пор, пока вновь не коснется поверхности S_i .

Таким образом, рассматриваются два вида движения точечных масс m_i – свободное (без взаимодействия с твердым телом $R_i = 0$) и связанное ($R_i \neq 0$).

Переход от связанного движения к свободному осуществляется непрерывным образом, т. е. параметры движения твердого тела и точечной массы m_i в момент перехода непрерывны.

Параметры модели определяются конфигурацией баков, степенью их заполнения и свойствами жидкости. Приводятся примеры математического моделирования процессов стабилизации и стыковки с использованием предложенных моделей.

УДК 612.91.01

АНАЛИЗ КОМПОНЕТИКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЧЕРТЕЖА ЛЮБЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Ю. А. Новосёлов

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

В машиностроении используется огромное многообразие разновидностей обработки резанием, отличающихся большим количеством различных принципиальных особенностей, к которым можно отнести, например, вид и размеры заготовки, форму и размеры обработанной поверхности, число и взаимное расположение одновременно обрабатываемых поверхностей, вид главного движения резания и место его приложения, количество, вид и место приложения движений подачи, компоновочные характеристики станка, способы закрепления в нём инструментов и т. д. Кроме того, каждая из возможных разновидностей обработки резанием может обеспечиваться разнообразными по конструкции режущими инструментами (в дальнейшем – РИ), выбор которых обуславливается не только перечисленными обстоятельствами, но и целым рядом других условий, например, жёсткостью самой детали, типом металлорежущего станка, конструкцией самого приспособления, традициями и опытом предприятий, спецификой выпускаемой ими продукции, наконец, личным опытом и пристрастиями самого конструктора РИ.

Проведённые автором исследования данной проблемы показали, что количество используемых в промышленности конструкций РИ приближается к цифре 10^6 . Такое множество возможных вариаций РИ значительно осложняет создание единой геометрической теории для различных РИ, разработку общих принципов и методов расчёта графического изображения любых его представителей. В данной ситуации невозможна разработка общей для всех разновидностей процесса резания и инструмента системы автоматизированного проектирования РИ с единым программным обеспечением и общей базой данных.

Главным препятствием в данном случае является индивидуальность графического образа каждой конкретной конструкции инструмента, неразработанность единых правил вычерчивания проекций и сечений инструмента, отсутствие теоретических принципов унификации элементов размерного комплекса РИ и другие причины.

Автором предложен, разработан и использован так называемый метод идентификации процессов резания и инструментов, под которым понимается разработка теоретических основ уподобления друг другу различающихся по любому числу признаков одноподобных объектов, в частности – режущих инструментов. В основу этого метода были положены следующие разработки автора:

1. Разработка единой системы научно-технических терминов и определений процесса резания и инструмента, завершившаяся изданием государственных стандартов СССР.

2. Введение понятия обобщённой кинематической схемы резания. Установление единого принципа проведения координатных осей так называемой нами технологической системы координат.

3. Введение понятия базовой установки инструмента в обобщённой кинематической схеме резания.

4. Введения понятий габаритного контура принципиальной схемы РИ.

5. Разработка единых правил компоновки универсального чертежа РИ (компонетики) для любого конкретного типа и конструкции инструмента.

УДК 621.436.01

ЭНЕРГОЗАТРАТЫ НА ПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРОВ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко

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

Тракторные двигатели жидкостного охлаждения затрачивают на привод вентилятора 2...5 % своей номинальной мощности. Развитие этих двигателей идёт в настоящее время по пути увеличения их мощности, компактности и улучшения экономичности.

Основным требованием к вентилятору является обеспечение расхода потока воздуха для обеспечения заданного температурного режима системы охлаждения двигателя. Конструктивно наружный диаметр вентилятора выбирается равным минимальному одному из фронтальных размеров сердцевины водяного радиатора. Величиной наружного диаметра вентилятора определяется коэффициент обдува радиатора, характеризующий степень использования радиатора, который для радиаторов с.х. тракторов находится в пределах 0,59...0,724.

Эффективность системы охлаждения выше при уменьшении удельной поверхности охлаждения радиатора. При одновременном обеспечении заданного температурного режима двигателя вентиляторная установка потребляет меньше мощности при уменьшении числа пар лопастей и частоты вращения вентилятора. При удельной ометаемой поверхности за цикл выше энергетическая эффективность вентиляторной установки, которая зависит от принятой компоновочной схемы, установочных размеров относительно двигателя и радиатора. На развиваемое вентилятором давление, его производительность, а также затрачиваемую мощность влияют расстояния между лопастями вентилятора и радиатором (ΔL), торцом блока (ΔL_1), зазор между лопастями и кожухом (ΔR).

Оптимальными установочными размерами для вентиляторных установок типа тракторов «Беларус» являются:

- наружный диаметр вентилятора должен быть не менее наименьшего фронтального размера радиатора;
- расстояние между сердцевиной радиатора и лопастями рекомендуется в пределах 40 ± 5 мм;
- выступание лопастей из кожуха вентилятора рекомендуется в пределах $16 \pm 2,5$ мм;
- кольцевой зазор между лопастями и кожухом рекомендуется в пределах $13 \pm 1,0$ мм.

Затраты мощности на привод вентилятора, полученные на стенде аэродинамических испытаний, описываются уравнением, по которому мощность находится в кубической зависимости от частоты вращения вентилятора. Мощность вентилятора, полученная непосредственно на моторной установке с макетом двигателя в тракторной комплектации находится в квадратичной зависимости от частоты вращения колёчатого вала.

Исследования показывают, что увеличение диаметра вентилятора на 10 мм, увеличивают расход потребляемой мощности на 9 %.

Анализ влияния конструктивных параметров вентилятора на потребляемую мощность показывает, что при увеличении угла атаки лопастей вентилятора при час-

тоте вращения коленчатого вала двигателя до 1800 мин^{-1} изменение затрат мощности не выявлено. При дальнейшем увеличении частоты вращения на каждые 200 мин^{-1} затраты мощности увеличиваются незначительно, увеличение составляет $1,5...2 \%$ для вентиляторов с углом атаки лопастей 30° по сравнению с углом атаки 27° . Увеличение диаметра вентилятора повышает затраты мощности на его привод, с увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя затраты мощности также повышаются.

Увеличение потребляемой мощности вентилятором $\varnothing 540 \text{ мм}$ по сравнению с вентилятором $\varnothing 510 \text{ мм}$ составляет $25...30 \%$ при одном значении частоты вращения.

СЕКЦИЯ Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.245

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ СЛОЖНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА, ПЕРЕМещаЮЩЕГОСЯ САМОСТОЯТЕЛЬНО

Н. А. Максимов, Д. В. Шкетик

*Московский Авиационный Институт (Государственный
технический университет), Россия*

Наиболее важной и актуальной проблемой всех ныне существующих беспилотных наземных транспортных средств (БТС), перемещающихся самостоятельно, без управления со стороны человека, остается локализация, выбор режимов перемещения, построение маршрута передвижения, адекватного окружающей обстановке без ущерба поставленной цели. При решении такого рода задач бортовая система БТС должна иметь алгоритмы, выполняющие следующие функции: локализовать БТС (с наличием априорных карт местности или без таковых), классифицировать препятствия, построить возможные маршруты уклонения от препятствий; определять скоростные параметры перемещения, отслеживать ТТХ БТС. К примеру, такие как угол поворота колес и скорость их вращения (проблема отслеживания скорости вращения колес и путевой скорости), устанавливать правила и ограничения по геометрической проходимости, положения центра масс, правильно интерпретировать сведения об окружающем мире, получаемые от датчиков, и постоянно отслеживать собственные координаты. Помимо этого, бортовая система БТС должна построить эффективный алгоритм перехода от одного режима перемещения к другому (режим с ограничениями по эффективности, режим с ограничениями по дистанции остановки, режим с ограничениями по маневрированию). Обязательно должен присутствовать алгоритм по выводу БТС из тупика, к примеру, путем решения задачи локализации с предоставлением альтернативы, а также ряда других задач.

Применительно к реальным условиям эксплуатации (городские либо бездорожье) на БТС накладываются такие функции, как:

- определение собственных координат (задача локализации);
- выбор направления движения как на основании предварительных карт местности и показателей бортовых датчиков, так и некоторого количества ограниченной, принятой извне информации (координатам, полученным от спутниковых систем для условия бездорожья, координатам, полученным от различных точек маршрута);
- определение на основании данных, полученных от алгоритмов локализации, так и на основании информации, полученной извне границ для выполнения алгоритма маневрирования в ограниченных пространствах;
- определение скоростного режима перемещения БТС при взаимодействии с алгоритмами планирования траектории и маневрирования;
- непрерывное отслеживание логической цепочки «опрос датчиков – принятие оперативного решения, к примеру, методом голосования на основании стоимостных факторов о поддержании текущего либо выборе альтернативного маршрута».

Таких логических цепей может существовать некоторое количество. На основе этих логических цепей формируются алгоритмы высшего и низшего уровней – к примеру, алгоритм высокого уровня ответственный за следование по основному маршруту, и алгоритмы более низкого уровня, к примеру, один за обход препятствий и отслеживание положения ЦМ, второй, за выбор режима перемещения, третий, отвечающий за наблюдение над параметрами транспортного средства. Необходимо заметить, что на аппаратном уровне каждая логическая цепочка может получать данные от датчиков разных типов и разных принципов действия, которые, в свою очередь, формируют потоки различных по объему и интенсивности данных.

Проблемы, непосредственно связанные с движением на текущем коротком отрезке маршрута бездорожья или перемещения в городе, решаются путем реагирования на особенности внешней среды и адекватного сопоставления реакции со стороны системы управления. При этом алгоритмы «высокого уровня» следят за соблюдением общего плана, внося коррективы в него в случае необходимости, а алгоритмы «низкого уровня» осуществляют синхронизацию работ всех низших структур.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТИПА АЛЬФАПЛЮС ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В. Н. Петренко, О. В. Лымарь

Филиал РУП «Гомельэнерго» – «Энергонадзор», Беларусь

Целью исследований является оценка возможности использования счетчиков электрической энергии типа АльфаПлюс для контроля качества электрической энергии.

Многофункциональный электронный счетчик электрической энергии типа АльфаПлюс (далее по тексту – счетчик) предназначен для учета активной и реактивной энергии в цепях переменного тока, а также может использоваться в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии для передачи измеренных или вычисленных параметров на диспетчерский пункт. Он также измеряет и отображает величины, характеризующие параметры сети: фазные токи и напряжения, углы векторов токов и напряжений, активную, реактивную и полную мощности и т. д. Для постоянного мониторинга некоторых из них используются, заданные в «тестах параметров сети» и «тестах качества параметров электрической энергии», пороговые значения. При выходе параметра за пределы установленных порогов и нахождении его за этим пределом в течение времени, превышающего заданное, это событие фиксируется в ЖУРНАЛЕ СОБЫТИЙ.

В соответствии с технической документацией счетчик измеряет гармонические составляющие напряжения до 15-й гармоники включительно и фиксирует провалы напряжения. Контролировать гармонические составляющие напряжения в соответствии с ГОСТ 13109-97 счетчик не способен, т. к. отслеживает только текущие значения, без их статистической обработки.

Для выявления провалов напряжения используется «тест провал напряжения», под которым счетчик понимает снижение напряжения ниже допустимого порога. Минимальный интервал времени понижения напряжения, превышение которого фиксируется как провал напряжения, задается в пределах от 31 до 1500 мс. По ГОСТ 13109-97 под провалом напряжения понимается внезапное понижение на-

пряжения в точке электрической сети ниже $0,9 U_H$, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд. Таким образом, провалы напряжения длительностью от 10 до 31 мс фиксироваться не будут, кроме этого, невозможно определить длительность провала напряжения в связи с тем, что в журнале события фиксируются с точностью до 1 секунды.

Таким образом, использование счетчиков электрической энергии типа АльфаПлюс для контроля качества электрической энергии не представляется возможным по следующим причинам:

- 1) счетчик сертифицирован только для учета электрической энергии, в связи с чем, полученные данные по ее качеству не имеют юридической силы;
- 2) отсутствует возможность контроля гармонических составляющих напряжения в соответствии с ГОСТ 13109-97;
- 3) минимальная длительность провала напряжения, фиксируемого счетчиком, составляет 31 мс (по ГОСТ 13109-97 от 10 мс), при этом отсутствует возможность измерения его длительности и глубины.

Стоит отметить, что полученные с помощью счетчика данные могут служить основанием для дальнейших комплексных исследований качества электроэнергии с использованием специализированных средств измерений.

УДК 62-83:621.313.333

КРИТИЧЕСКИЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В. И. Луковников, Ю. А. Рудченко

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

Электромеханические автоколебательные системы «Асинхронный электродвигатель – позиционный элемент» являются автономными системами, близкими к линейным консервативным.

Анализ установившегося периодического движения таких систем можно осуществить различными известными методами [1], [2].

В данной работе сделан сравнительный критический анализ методов Пуанкаре, Ван-дер-Поля, Гольдфарба, Галеркина – Бубнова, Меллера и авторов [3] на основе исследования автоколебательной системы «однофазный асинхронный электродвигатель – линейная пружина», описываемой уравнением

$$\ddot{\varphi} + \dot{\varphi} = \mu(\dot{\varphi}) = \alpha_1 \dot{\varphi} - \alpha_2 \dot{\varphi}^3 - M_{\text{ст}} \text{Sign}(\dot{\varphi}) - H \cdot \dot{\varphi},$$

где $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ – угловое перемещение, скорость и ускорение, соответственно; $\mu(\dot{\varphi})$ – функция, учитывающая диссипативные силы нагрузки и электромагнитные силы асинхронного двигателя (АД); α_1, α_2 – коэффициенты полиномиальной аппроксимации механической характеристики АД; $M_{\text{ст}}$ – момент сухого трения нагрузки; H – коэффициент демпфирования.

Анализ показал, что в случае гармонической линеаризации периодического движения все методы дают одинаковые результаты, кроме метода компенсации, разработанного авторами и основанного на полиномиальной линеаризации.

Различие в результатах компенсируется тем, что метод авторов позволяет получить аналитическое выражение связи параметров системы с условиями пуска в установившийся автоколебательный режим.

Исследовать же девиацию амплитуды и частоты автоколебаний в течение периода, представленных в виде ряда Фурье, целесообразно методом Пуанкаре.

Л и т е р а т у р а

1. Андронов, А. А. Теория колебаний / А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. – Москва : ФИЗМАТГИЗ, 1959. – 915 с.
2. Канингхэм, В. Введение в теорию нелинейных систем / В. Канингхэм. – Москва : Госэнергоиздат, 1962. – 264 с.
3. Луковников, В. И. Анализ уравнения автоколебательного движения асинхронного электродвигателя методом компенсации / В. И. Луковников, Ю. А. Рудченко // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2002. – С. 122–123.

УДК 62-83:621.313.333

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ТАРИФА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ-РЕГУЛЯТОРОВ

А. В. Сычев, О. Ю. Пухальская

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

Снижение максимума электрической нагрузки в энергосистеме (ЭС) при регулировании режимов работы предприятий зависит от того, насколько заинтересованы потребители смещать производственные циклы и в каких направлениях по оси времени. Экономический эффект каждого потребителя при маневрировании ГЭН зависит от формы ГН этого потребителя, а также от параметров дифференцированного тарифа: количества тарифных зон, их продолжительности и размещения во времени, тарифных коэффициентов.

Опыт применения дифференцированного тарифа в Беларуси показал, что параметры дифференцированного тарифа, применяемые в настоящее время, не позволяют согласовать интересы потребителей электроэнергии и ЭС при регулировании электрической нагрузки для повышения ее равномерности и снижения максимума мощности ЭС по следующим причинам:

- низкий экономический эффект от смещения производственного цикла во времени;
- при достаточном экономическом эффекте тариф стимулирует смещение производственного цикла в направлении ухудшения равномерности совмещенного графика нагрузки ЭС.

Целью исследования является определение индивидуальных параметров дифференцированного тарифа на электроэнергию, которые позволят максимально возможно экономически заинтересовать промышленных потребителей в регулировании максимума нагрузки энергосистемы при смещении собственных производственных циклов.

Для решения поставленной задачи были разработаны:

- 1) математическая модель графика нагрузки, отражающая взаимосвязь параметров электропотребления, используемых для расчета стоимости электро-

- энергии по двухставочно-дифференцированному тарифу, и величины смещения ГЭН во времени;
- 2) программа для ПЭВМ на языке VBA, позволяющая определить значения смещений производственных циклов отдельных предприятий, при которых совмещенный максимум нагрузки будет наименьшим;
 - 3) способ определения количества тарифных зон штрафного и льготного электропотребления и их размещения в суточном цикле, а также соответствующих этим зонам тарифных коэффициентов.

По результатам исследования ГЭН и моделирования совмещенной электрической нагрузки при смещении производственных циклов для 34-х предприятий г. Гомеля было установлено, что для снижения максимума совмещенной нагрузки необходимо сместить во времени производственные циклы 18 потребителей-регуляторов, при этом ожидаемое снижение максимума составит 5 %. Для потребителей-регуляторов определены индивидуальные параметры дифференцированного тарифа на электроэнергию, обеспечивающие снижение стоимости потребляемой электроэнергии на 3–11 % при смещении производственных циклов. Значения параметров тарифа составили:

- количество тарифных зон штрафного электропотребления – $1 \div 3$;
- количество тарифных зон льготного электропотребления – 1;
- тарифный коэффициент в зоне льготного электропотребления – $0,5 \div 0,8$;
- тарифный коэффициент в зоне штрафного электропотребления – $1,8 \div 3,4$.

УДК 62-83:621.313.333

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОМЕРНО-ВРЕМЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

А. В. Козлов

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

Для расчета элементов САУ переменного тока на несущей, а также систем, имеющих нелинейности типа «произведения», был предложен новый многомерно-временной операторный метод, который базируется на использовании многомерно-временных динамических звеньев. Классификация и типология типовых звеньев подробно освещена в [1].

Для их реализации наиболее удачной компьютерной программой является Simulink 5, являющаяся расширением системы MATLAB 6.5. SP1. Приложение Simulink 5 имеет в своем распоряжении большую базовую библиотеку блоков для моделирования линейных и нелинейных динамических систем, а также обладает достаточно широкими возможностями создания собственных блоков [2], [3].

Большинство типов многомерно-временных динамических звеньев можно реализовать при помощи пяти так называемых «универсальных» звеньев:

1. Универсальное многомерно-временное динамическое звено с модуляцией и демодуляцией.
2. Универсальное многомерно-временное звено с модуляцией.
3. Универсальное многомерно-временное звено с демодуляцией.
4. Универсальное многомерно-временное звено без модуляции.
5. Звено ассоциации.

Вышеперечисленные многомерно-временные звенья представляют собой блоки, имеющие собственные диалоговые окна, в которых задаются их основные характеристики. Например, универсальное многомерно-временное звено с модуляцией и демодуляцией имеет следующие параметры для задания:

- Режим модуляции (внешняя или внутренняя).
- Тип и параметры несущего сигнала модуляции (если модуляция внутренняя). На выбор пользователю предлагается несколько наиболее часто используемых типов несущих сигналов. Если ни один из предложенных вариантов несущих сигналов не подходит, то предусмотрена возможность внешнего подключения источника модуляции.
- Тип и параметры пассивного четырехполюсника. Звено позволяет задать наиболее часто используемые в САУ передаточные функции динамических звеньев;
- Режим демодуляции (внешняя или внутренняя).
- Тип и параметры несущего сигнала демодуляции (если демодуляция внутренняя). Реализованы такие же типы сигналов, как и при модуляции. И в этом случае предусмотрена возможность подключения внешнего источника демодуляции.

Л и т е р а т у р а

1. Козлов, А. В. Многомерно-временной операторный метод анализа и синтеза элементов САУ / А. В. Козлов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2005. – № 4. – С. 37–48.
2. Черных, И. В. Simulink. Среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – Москва : ДИАЛОГ-МИФИ. – 2004. – 468 с.
3. Дьяконов, В. П. MATLAB 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6 в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС. – 2005. – 573 с.

УДК 621.398:628.971

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

Ю. Е. Котова

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

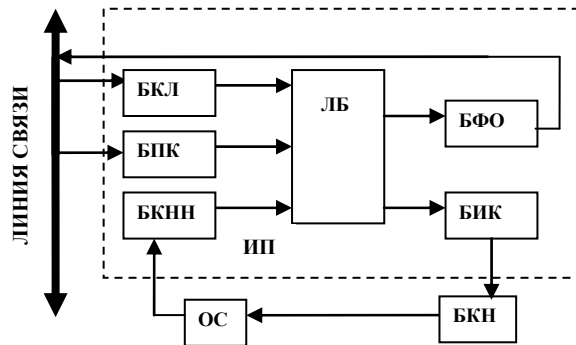
Исполнительный пункт предназначен для централизованного дистанционного управления наружным освещением города и получения информации об освещении тех или иных объектов.

В настоящее время в эксплуатации находятся исполнительные пункты, выполненные на основе электромагнитных реле, обладающие такими недостатками, как низкая надежность, большие размеры, большое энергопотребление и относительная дороговизна. Эти недостатки устранены в электронном исполнительном пункте, выполненном на современной оптоэлектронной базе.

Исполнительный пункт предназначен для выполнения следующих функций: приема, распознавания поступивших команд; непосредственного управления освещением объекта и выдачи на линию информации о состоянии освещения. В случае невыполнения полученной команды исполнительный пункт выдает на линию сигнал несоответствия (-70 В), этот же сигнал выставляется и в случае обрыва линии.

На структурной схеме, приведенной ниже, ЛБ – логический блок, который осуществляет перевод исполнительного пункта (ИП) из режима приема команд в режим передачи ответов и обратно. В режиме приема команд ЛБ производит переключение режимов в соответствии с командой, поступившей от блока приема команд (БПК) и

передает ее на блок исполнения команд (БИК), который запоминает и исполняет поступившую команду, подавая соответствующие напряжения через блок коммутации напряжений (БКН) в линии освещения (ОС).



Контроль за наличием тока в линии, который является критерием выбора режима работы исполнительного пункта, осуществляется блоком контроля линии (БКЛ); этот же блок предназначен для формирования временных интервалов. Момент пропадания тока в линии является начальным моментом времени цикла приема команды. После завершения цикла приема (временной интервал, равный 400 мс), в случае если протекание тока в линии не возобновится, ИП определит эту ситуацию как обрыв и выставит в линию отрицательное напряжение.

Блок формирования ответов (БФО) производит оценку сигналов, поступивших от блока контроля наличия напряжений (БКНН), и в случае соответствия их комбинации одному из режимов выдает информацию о наличии этого режима. В случае несоответствия блок выдает сигнал несоответствия текущего режима ни одному из стандартных состояний освещения.

Разработанный по данной структурной схеме электронный исполнительный пункт имеет в 11 раз меньшие габаритные размеры, в 6,7 раза меньший вес и в 3,3 раза меньшую потребляемую мощность, чем находящиеся в эксплуатации в данный момент исполнительный пункт, выполненные на основе электромагнитного реле.

УДК 621.398:628.971

ДАТЧИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТВЕТОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПУЛЬТА

П. П. Изотов

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

А. А. Кондратьев

ООО СП «Беккер – Систем», Беларусь

Для управления уличным (наружным) освещением в г. Гомеле применяется телемеханическая система УТУ-4М. Эта система позволяет постепенно (по каскадам) включать и отключать освещение на улицах города, что значительно снижает пиковую нагрузку на электрические сети. Включение освещения имеет два режима: вечернее – когда включаются все светильники и ночное – когда включается опреде-

ленная группа светильников (через один или через два). Переход с одного режима на другой позволяет без дискомфорта для жителей города осуществлять экономию электрической энергии. Телемеханическая система УТУ-4М состоит из диспетчерского пульта управления, находящегося в диспетчерской ДКПУП «Гомельгорсвет», и исполнительных пунктов, находящихся на освещаемых объектах в шкафах управления освещением. Диспетчерский пульт управления посредством линий связи, расположенных в телефонном кабеле, соединен с исполнительными пунктами. Оператор при помощи диспетчерского пульта посылает команды исполнительным пунктам, которые при получении команды отключают освещение или включают вечернее либо ночное освещение. После выполнения команды исполнительный пункт выставляет на линию связи ответ о выполнении или невыполнении принятой команды. Ответ находится на линии связи до следующей команды диспетчерского пульта. Для выдачи ответов диспетчерскому пульту исполнительный пункт использует следующие напряжения: -70 В вместе с $\sim 24\text{ В}$ – включен режим вечернего освещения; $+70\text{ В}$ вместе с $\sim 24\text{ В}$ – включен режим ночного освещения; $+70\text{ В}$ – отключено все освещение; -70 В – сигнал несоответствия (команда не выполнена или обрыв линии связи).

Разработка компьютерного диспетчерского пульта позволит автоматизировать работу оператора, увеличить число подключаемых исполнительных пунктов до 100 шт. без увеличения массогабаритных показателей диспетчерского пульта, автоматически определять причину невключения каскада (обрыв линии связи или отсутствие напряжения на каскаде), что позволит уменьшить число «ложных» выездов ремонтной бригады. При разработке блока сопряжения компьютера с исполнительными пунктами необходимо было решить задачу определения ответов исполнительных пунктов.

Если определение положительного или отрицательного напряжения не вызывает затруднений (напряжения определяются при помощи оптотранзисторов типа РС817), то определение переменного напряжения ($\sim 24\text{ В}$) на фоне постоянного ($\pm 70\text{ В}$) потребовало нестандартных решений. Определение переменного напряжения при помощи разделительного конденсатора не подходит по следующим причинам: конденсатор ослабляет сигнал переменного напряжения, что может привести к неправильному определению ответа от исполнительного пункта, находящегося на удаленных линиях (15–20 км); увеличение конденсатора приводит к ухудшению параметров линии связи, а также к увеличению габаритов самого конденсатора (применять электролитические конденсаторы нельзя, т. к. постоянное напряжение имеет разную полярность $\pm 70\text{ В}$), что, в свою очередь, приводит к увеличению массогабаритных показателей блока сопряжения.

В докладе представлены датчики определения постоянного (положительного и отрицательного) напряжения и переменного напряжения на фоне постоянного разнополярного напряжения на основе двунаправленного оптотранзистора типа РС814.

УДК 621.398:628.971

ДОРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ПУНКТА**П. П. Изотов***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь***А. А. Кондратьев***ООО СП «Беккер – Систем», Беларусь*

Электронные исполнительные пункты [1] на объектах, удаленных не более 5 км от диспетчерской ДКПУП «Гомельгорсвет», работают стабильно. Однако при их использовании на удаленных объектах (10–15 км) стали наблюдаться сбои в работе. Команда отключить освещение выполнялось без сбоев, а вот команды на включение одного из режимов освещения (вечернего либо ночного) иногда (совершенно случайно) приводили к «зависанию» электронного исполнительного пункта, т. е. команда, приведшая к «зависанию», исполнялась, а вот на остальные команды исполнительный пункт не реагировал.

В результате экспериментов, проведенных в лаборатории с моделированием эквивалента телефонной линии связи [2] было установлено, что при выставлении исполнительным пунктом ответа в линию связи о включенном вечернем (–60 В вместе с ~24 В) либо ночном (+60 В вместе с ~24 В) режиме уличного освещения при превышении определенной емкости в линии (увеличения длины линии связи) датчик тока электронного исполнительного пункта вырабатывает сигнал размыкания линии связи. При дальнейших исследованиях данного явления было установлено, что подача переменного сигнала в линию при уже выставленном уровне постоянного напряжения приводит к протеканию токов перезаряда емкости линии, которые при определенных условиях могут ток в датчике тока сделать равным нулю. В этот момент формируется ложный сигнал о размыкании линии связи, который вводит исполнительный пункт в режим «зависания».

При исследовании условий появления ложного сигнала было установлено, что ложный сигнал появляется, когда переменный сигнал, выставляемый в линию, в момент включения соответствует полуволне с амплитудным значением, противоположным заряду емкости линии связи. Включение переменного сигнала в другие моменты времени не приводило к появлению ложного сигнала. Данное исследование позволило объяснить случайный характер появления сбоев в работе электронного исполнительного пункта. Также было определено, что длительность ложного импульса датчика тока не превышает 2,5 мс.

Для устранения влияния ложного сигнала на работу электронного исполнительного пункта было решено установить устройство задержки на 5 мс, которое блокировало все сигналы датчика тока длительностью менее 5 мс. При проведении испытаний доработанных электронных исполнительных пунктов сбоев в их работе не наблюдалось.

Литература

1. Разработка исполнительного пункта наружного освещения городов с улучшенными массогабаритными и энергетическими показателями: отчет о НИР (заключ.) / ГГТУ им. П. О. Сухого ; рук. П. П. Изотов. – Гомель, 2005. – 60 с. – № ГР 20042627.

2. Белоруссов, Н. И. Электрические кабели, провода и шнуры : справочник / Н. И. Белоруссов, А. Е. Саакян, А. И. Яковлева ; под ред. Н. И. Белоруссова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 536 с.

УДК 681.518

НЕПРЕРЫВНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЙ ПОД НАГРУЗКОЙ

Д. М. Лось, М. А. Прохорчик

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

В силовых трансформаторах одним из уязвимых узлов является РПН. Из-за неисправностей, связанных с работой РПН, повреждаются примерно 15 % трансформаторов. Для стран СНГ характерно наибольшее распространение быстродействующих РПН, имеющих активные токоограничивающие сопротивления (SAV, SCV, SDV, PC, PCГ, РНТА, РНОА). В этих устройствах гашение дуги происходит в масле посредством контактора рычажного или роторного типа. Поэтому именно контакты контактора подвергаются наибольшему износу по сравнению с избирателем и реверсором.

Контактор должен обеспечивать кратковременное протекание тока через токоограничивающие сопротивления. Помимо этого время переключения должно быть малым для обеспечения целостности цепи тока. Известно несколько способов измерения времени переключения контактора, основанных на методике осциллографирования.

Стандартная методика измерения требует слива трансформаторного масла и вскрытия РПН для обеспечения доступа непосредственно к контактам, для исключения влияния индуктивности трансформатора. В этом случае измерения проводятся на постоянном токе, что подразумевает отключение трансформатора от сети. Данная методика является самой дорогостоящей и трудоемкой.

Другой разновидностью методики осциллографирования является определение состояния контактора без вскрытия бака РПН. В этом случае переключения контактора фиксируются также на постоянном токе при помощи трехканального осциллографа. С целью получения длительности переключения проводится математическая обработка диаграммы токов, искаженной влиянием индуктивности обмотки трансформатора. Однако применение этой методики требует издержек, связанных с отключением трансформатора.

Целью данной работы является разработка методики диагностирования переключения РПН силовых трехфазных трансформаторов, позволяющей изучить работу контактора без вскрытия бака РПН, слива трансформаторного масла и отключения трансформатора. Особенностью предлагаемой методики является возможность проведения измерений на переменном токе, что не требует дополнительных источников постоянного тока.

Для проведения вычислительного эксперимента была составлена математическая модель РПН, состоящая из двух плеч контактора, включающего главный, дугогасительный и вспомогательные контакты. При этом переключение избирателя и реверсора не учитывалось. Трансформатор для простоты рассматривался в виде активно-индуктивной нагрузки. Сам эксперимент в целях наглядности был осуществлен в приложении Simulink 5.0 из пакета программ Matlab 6.5. Дальнейшая математиче-

ская обработка переменного тока, проходящего через РПН, позволила определить длительность переключения по изменению переходного сопротивления в моменты переключений.

УДК 621.314.222.8

ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ВЫШЕ 1 кВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

О. Г. Широков

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

В. Н. Петренко, О. В. Лымарь

Филиал РУП «Гомельэнерго»–«Энергонадзор», Беларусь

Контроль качества электрической энергии в сетях выше 1 кВ осуществляется относительно вторичных цепей измерительных трансформаторов напряжения (ТН), к которым непосредственно подключаются средства измерений показателей качества электрической энергии (ПКЭ). При этом используются, как правило, ТН, установленные в узлах сети и предназначенные для учета электрической энергии, а также для функций релейной защиты и автоматики. Согласно ГОСТ 1983-2001, данные ТН должны подвергаться периодической поверке не реже одного раза в 5 лет, но, как показывает опыт, из-за отсутствия резервного парка, больших габаритов и массы измерительных ТН их доставка в стационарные поверочные лаборатории представляется проблематичной, а для классов напряжения 110 кВ и выше – практически нереализуемой. При этом метрологические характеристики ТН имеют ярко выраженную зависимость от параметров вторичной нагрузки, что обуславливает необходимость их поверки на месте эксплуатации при реальной вторичной нагрузке. Одним из путей решения данной проблемы (а для классов напряжения 110 кВ и выше – единственно возможным) является использование передвижной поверочной лаборатории (ППЛ). Она позволит решить проблему контроля таких ПКЭ, как установившееся отклонение напряжения и коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности. Однако ППЛ не производит измерений частотных свойств ТН, которые необходимы при контроле показателей несинусоидальности напряжения. Кроме этого, существует и чисто формальная проблема измерений частотных свойств ТН, заключающаяся в отсутствии соответствующей нормативной базы в Республике Беларусь. В Российской Федерации она была частично решена с выходом РД 153-34.0-15.501-00 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 1: Контроль качества электрической энергии». В них оговаривается, что неравномерность амплитудно-частотной характеристики ТН в полосе частот до 2 кГц не должна превышать 2 %, а коэффициенты n -х гармонических составляющих напряжения до 40-й включительно, на выходе ТН при подаче на его вход синусоидального напряжения частотой 50 Гц должны быть не более 0,02 %. Нормы на фазо-частотные характеристики ТН, необходимые при анализе источников ухудшения ПКЭ (в соответствии со второй частью методик – РД 153-34.0-15.502-2002) в данном документе отсутствуют.

Таким образом, для решения проблем контроля качества электрической энергии в сетях выше 1кВ, необходимо разработать соответствующую нормативную базу

и средства измерений частотных свойств ТН. При этом за основу могут быть приняты нормы РД 153-34.0-15.501-00, а для поверки и измерений частотных свойств ТН наиболее целесообразно использовать ППЛ. Это позволит одновременно с поверкой ТН производить измерения его частотных свойств на месте эксплуатации. Сами измерения, ввиду их большого объема, необходимо выполнять в автоматическом режиме с минимальным участием оператора в измерительном процессе, что должно значительно сократить время измерений и повысить их качество.

УДК 621.314.222.8

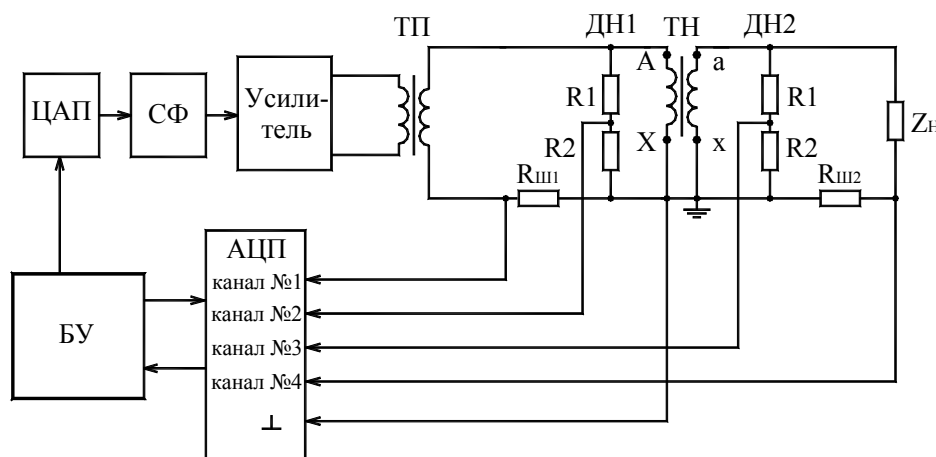
МЕТОД И СРЕДСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

О. В. Лымарь

Филиал РУП «Гомельэнерго»–«Энергонадзор», Беларусь

Целью исследований является разработка метода и средства автоматизированного измерения частотных свойств ТН.

Предлагаемый метод измерений частотных свойств состоит в сличении испытуемого ТН с эталонным делителем напряжения. При этом испытательное напряжение формируется автономно, что позволяет генерировать моно или полигармонические испытательные напряжения, свободные от возможных искажений сетевого напряжения с различным содержанием гармоник заданных амплитуд и фазовых углов. Функциональная схема средства измерений частотных свойств ТН, реализующая предлагаемый метод измерений, представлена на рисунке.



Функциональная схема средства измерений частотных свойств ТН:
 ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; СФ – сглаживающий фильтр; ТП – повышающий трансформатор; ДН 1, ДН 2 – первый и второй делители напряжения; БУ – блок управления; $R_{ш1}$, $R_{ш2}$ – первый и второй датчики тока (шунты); АЦП – аналого-цифровой преобразователь

Благодаря автоматизации процесса измерений и небольшим массогабаритным показателям предлагаемого средства измерений, на его основе может быть создана передвижная поверочная лаборатория с функцией измерения частотных свойств ТН. Это позволит одновременно с измерением частотных свойств ТН осуществлять его

поверку на месте эксплуатации при реальной вторичной нагрузке, для чего необходимые изменения вносятся только в программное обеспечение БУ и не затрагивают аппаратную часть средства измерений.

Экспериментальная апробация разработанного метода измерений частотных свойств ТН производилась на двух ТН типа НОМ-6 1976 и 1983 годов выпуска. В целом, в ходе экспериментальных исследований была подтверждена работоспособность и эффективность разработанного метода и средства измерений частотных свойств ТН.

УДК 681.518

УТОЧНЕНИЕ ТЕРМИНОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ АНОРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

О. Г. Широков, Д. И. Зализный

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

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик электрических машин (в том числе и силовых трансформаторов) является температура. Теория тепловых процессов в электрических машинах в литературе изложена достаточно подробно. Однако терминология, принятая для описания аномальных тепловых процессов в электрических машинах, на сегодняшний день, по мнению авторов данного доклада, недостаточно корректно определена. Более точная определенность в терминах необходима при разработке систем диагностирования с целью получения наиболее достоверной информации о техническом состоянии машины.

Если проанализировать различные факторы, приводящие к возникновению аномальных тепловых процессов в электрической машине, то можно выделить следующие случаи:

- а) одна или более частей электрической машины перегреты из-за перегрузки машины или ее неверной эксплуатации;
- б) одна или более частей электрической машины аномально нагреты из-за ее внутренних повреждений, либо неисправностей в ее системе охлаждения;
- в) одна или более частей электрической машины перегреты из-за ее внутренних повреждений, либо неисправностей в ее системе охлаждения.

Отличие аномального нагрева от перегрева электрической машины состоит в том, что в первом случае температуры частей машины не превышают критических значений.

Таким образом, аномальные тепловые процессы могут иметь место, как в исправной, так и в неисправной электрической машине. В связи с этим авторами данного доклада предлагаются следующие термины и их определения.

Естественный перегрев – это превышение температур частей исправной электрической машины по сравнению с предельно допустимыми значениями температур этих частей.

Аномальный нагрев – это более высокие значения температур частей неисправной электрической машины по сравнению с температурами, которые имели бы место в полностью исправной машине при прочих равных условиях.

Если аномальный нагрев вызовет повышение температур частей электрической машины выше предельно допустимых, то возникнет аномальный перегрев машины.

Совершенно очевидно, что автоматическая система диагностирования электрической машины должна реагировать на аномальный нагрев или аномальный перегрев машины, выдавая сообщение о наличии возможной неисправности в машине. В случае естественного перегрева электрической машины система диагностирования не среагирует. В этой ситуации, а также в ситуации аномального перегрева электрической машины, должны среагировать устройства релейной защиты электрической машины. И наоборот, устройства релейной защиты не среагируют на аномальный нагрев электрической машины, если температуры ее частей не превышают критических значений. Подобных недостатков можно избежать, объединяя функции систем диагностирования и релейной защиты электрических машин.

Предложенная терминология позволяет более точно формулировать технический диагноз для электрической машины.

УДК 621.396.67

СИНТЕЗ РАДИОГОЛОГРАММЫ ПО ТРЕБУЕМОМУ ПОЛЮ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕННЫ

В. Н. Мизгайлов

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

Радиоголограмма, как дифракционный элемент будущей антенной системы с требуемым полем излучения, может быть построена с использованием классического подхода для записи голограммы, когда последняя рассматривается как интенсивность интерферирующих полей предметного и опорного (поля облучателя):

$$\Phi(\vec{\rho}) = (\vec{E}_n + \vec{E}_{on})(\vec{E}_n + \vec{E}_{on}). \quad (1)$$

Поле опорного источника $\vec{E}_{on}(\vec{\rho})$, обычно берется из конструктивно-технологических соображений. В частном случае, это сферическая или плоская волна. Но предметное поле $\vec{E}_n(\vec{\rho})$ должно в области источников соответствовать требуемому полю излучения проектируемой системы. Известно, что уравнение задачи синтеза антенны в операторной форме имеет вид $U\vec{I} = \vec{F}$, где оператор U – прямой оператор задачи. Возможным распределениям тока $\vec{I} = \{I_1, I_2 \dots I_N\}$ на излучателях, расположенных в заданной геометрической области, этот оператор сопоставляет соответствующие диаграммы направленности \vec{F} . При одной из схем решения этого уравнения оно приводится к нормальному уравнению $U \cdot U\vec{I} = U \cdot \vec{F}_0$, правая часть которого трактуется как некоторое поле $\vec{P}(\vec{\rho})$ в области источников, отражающее характер требуемого поля излучения \vec{F}_0 . Для свободного пространства это поле определяется соотношением $p(\vec{\rho}) = \oint_s \vec{F}_0(\vec{r}^0) e^{-jk\vec{r}^0 \cdot \vec{\rho}} ds$. Пользуясь этим соотношением

необходимо учесть особенности воспроизведения волновых фронтов в голографии, которые сводятся к простому правилу: если положение опорного источника не меняется по отношению к голограмме в момент записи и воспроизведения, то восстановленная волна исходит из голограммы (радиоголограммы) точно также, как первоначальная предметная волна. Следовательно, выполняя аналитические операции запи-

си радиоголограммы с использованием выражения для поля $\bar{P}(\bar{\rho})$, его необходимо брать с комплексным сопряжением, тогда выражение (1) для радиоголограммы будет иметь вид

$$\Phi(\bar{\rho}) = [\bar{P}(\bar{\rho}) + \bar{P}_{on}(\bar{\rho})][\bar{P}(\bar{\rho}) + \bar{P}_{on}(\bar{\rho})]. \quad (2)$$

Здесь $\bar{P}_{on}(\bar{\rho}) = \bar{E}_{on}(\bar{\rho})$ – поле облучателя; $\bar{P}(\bar{\rho}) = \bar{E}_n(\bar{\rho})$ – предметное поле, соответствующее полю требуемой д. н., но в области источников. При экспериментальном воспроизведении поля требуемой д. н. на имитаторе этой д. н. операция сопряжения выполняется автоматически для интерференционного поля в области источников. Таким образом, соотношением (2) предопределено получение необходимого направления излучения с радиоголограммы в структуре антенны, освещаемой опорным источником. Приводятся конкретные примеры.

УДК 621.396.67

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАТОРОВ V-ТИПА С ОПОРНЫМИ СТОЙКАМИ В СОСТАВЕ ПЛОСКОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В. П. Кудин

*Учреждение образования «Международный институт трудовых
и социальных отношений», Гомельский филиал, Беларусь*

В данной работе проводится подробный численный анализ электродинамических характеристик вибраторного излучателя V-типа с опорными стойками в плоской бесконечной фазированной антенной решетке (ФАР). Подобные системы широко используются на практике, например, в американской системе Pave Paws [1]. Развивается метод анализа электродинамических характеристик излучателей в составе бесконечной плоской ФАР, основанный на поэлементном учете взаимного влияния соседних излучателей. Вклады соседних излучателей учитываются с помощью поэлементного суммирования, что дает возможность получить результаты одновременно для ряда направлений фазирования. Применялся метод интегральных уравнений, а в качестве базисных и весовых использовались кусочно-синусоидальные функции (метод Галеркина). Эти функции автоматически удовлетворяют уравнению непрерывности на концах проводников и стыках согласно условию Кирхгофа для тока [2]. В приближении тонкого проводника и модели осевого тока задача сводится к решению интегрального уравнения типа Поклингтона относительно продольной составляющей тока на произвольной структуре из криволинейных проводников.

Геометрия излучателя показана на рис. 1. Смысл обозначений ясен из рисунка, отметим лишь, что все проводники расположены в одной плоскости. Дельтаобразный генератор напряжения размещен в середине перемычки, соединяющей плечи. Излучатели находятся над бесконечным идеально проводящим экраном. Сетка расположения излучателей является квадратной, со стороной $d = 0,52$ м, а плоскости вибраторов повернуты на угол 45° относительно сторон квадрата.

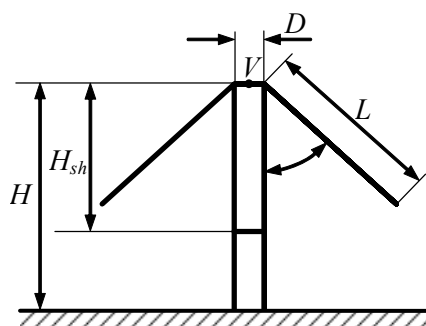


Рис. 1. Геометрия вибратора

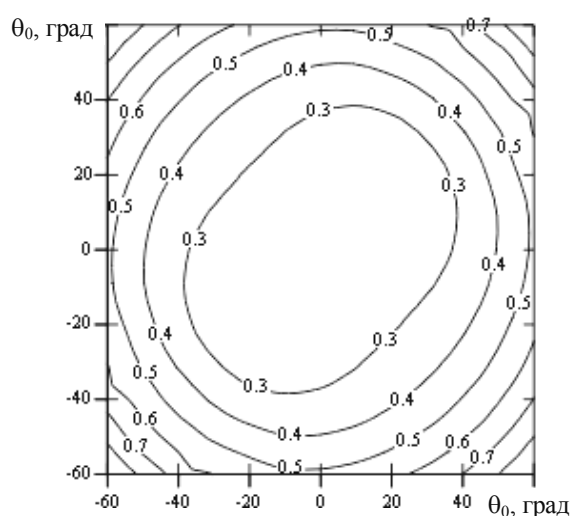


Рис. 2. Рельеф коэффициента отражения вибраторной антенны в составе ФАР

Рельеф коэффициента отражения вибраторной антенны в составе ФАР на относительной частоте $\nu = 1/\lambda = 0,9 \text{ м}^{-1}$ приведен на рис. 2. Антенна имеет параметры: $L = 0,27 \text{ м}$, $H = 0,33 \text{ м}$, $H_{sh} = 0,25 \text{ м}$, $D = 0,05 \text{ м}$, $\beta = 40^\circ$, а диаметры всех проводников одинаковы и равны 16 мм.

В результате многочисленных расчетов установлено, что плоская ФАР на основе вибраторов V-типа может функционировать в диапазоне частот до 40 % и секторе углов до 60° .

Литература

1. <http://www.pavepaws.com/Pave/Paws/Radar/Facts.htm>.
2. Кудин, В. П. Алгоритмизация задач возбуждения проволочных структур / В. П. Кудин, А. П. Рубан // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1986. – Т. 29, № 8. – С. 10–15.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

С. Н. Кухаренко

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

В настоящее время хорошо изучены и активно внедряются в промышленное производство методы временимпульсного регулирования электрической мощностью. К таким методам относят системы импульсно-фазового управления (СИФУ), широтно-импульсную (ШИМ) и широтно-импульсно кодовую (ШИКМ) модуляции. Все эти методы основаны на получении некоторого, желаемого, значения мощности в нагрузке посредством управления релейными элементами, в основном транзисторами.

Весьма крупными потребителями электрической энергии являются электроприводы насосов водоснабжения, компрессорных станций, электротранспорт. Сейчас производится активная замена систем регулирования производительностью данного оборудования системами с ШИМ регулированием выполненных по типовой структурной схеме, состоящей из последовательного включенного неуправляемого выпрямителя, фильтрующей емкости и импульсного преобразователя (инвертора). Такая структура приводит к повышению потерь в двигателе и его перегреву [1].

В докладе представлена методика и результаты измерения полного сопротивления изоляции, а также сопротивления цепи намагничивания асинхронного двигателя АИР100L2Y3 в диапазоне частот. Отмечено, что значение активной составляющей сопротивления изоляции обмотки на частоте 50–60 кГц снижается до значения 1,5 кОм, а сопротивление цепи намагничивания на частотах свыше 1 кГц имеет преимущественно активную составляющую.

Полученные результаты позволяют утверждать, что эффективность применения привода с широтно-импульсной модуляцией, поступающей непосредственно на двигатель, неоднозначна в диапазоне нагрузок. В режиме загрузки более 80 % применение непосредственного ШИМ управления двигателем энергетически неоправданно.

С целью расширения диапазона эффективного применения приводов с ШИМ предложено установить фильтры высших гармоник между инвертором и двигателем, таким образом исключив непосредственное влияние модулированного напряжения на обмотку двигателя. Однако применение высокочастотного реактивного фильтра может приводить к генерации высших гармоник тока и напряжения в нагрузке, а также перегрузкам силовой части привода.

Доклад содержит рекомендации по выбору соотношений между параметрами фильтра, частотой модуляции, а также приведены функциональные схемы управления широтно-импульсным модулятором с применением обратной связи по текущему значению напряжения на обмотке.

Литература

1. Влияние широтно-импульсной модуляции на погрешность индукционных счетчиков электроэнергии и на потери в асинхронном двигателе / А. П. Попов [и др.] // Журн. радиоэлектроники. Рос. акад. наук. – 2003. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul03/2/text.html>. – Дата доступа: 02.06.2006.

УДК 681.518

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ДАТЧИКОВ РАСХОДА****В. А. Карпов, О. М. Ростокينا***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Основным достоинством тепловых методов измерения расхода является отсутствие непосредственного контакта с измеряемой средой, чем и определяется основная область их применения: измерение расходов высокотемпературных, агрессивных и находящихся под высоким давлением сред. Так, на настоящий момент отсутствуют выпускаемые серийно средства измерения расхода топочного мазута для теплоагрегатов; средства измерения расхода рабочей жидкости в гидравлических системах с пропорциональным управлением; расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания, а имеющиеся серийно выпускаемые тепловые расходомеры не удовлетворяют техническим требованиям для описанных случаев.

В связи с этим задача совершенствования температурных методов измерения расхода представляется актуальной.

Нами предлагается двухмагистральный способ измерения расхода.

Новизна способа заключается в делении измеряемого потока на две равные части, в каждой из которых производится измерение с различными тепловыми режимами, а результаты этих измерений осредняются. Такой подход позволяет существенно снизить дополнительные погрешности от изменения температуры окружающей и измеряемой среды или при прочих равных значительно упростить конструкцию датчика расхода за счет снижения требований к качеству теплоизоляции. Кроме того, проведение измерений с чередующимися изменениями тепловых режимов в двух магистральных позволяет снизить требования и к идентичности гидравлических, тепловых и электрических параметров тепловых элементов.

Одним из недостатков тепловых расходомеров является значительный нагрев измеряемой среды [1], при котором изменяются ее теплофизические параметры. Это ведет к искажению результатов измерения, то есть к погрешности. Известны технические решения, позволяющие уменьшить нагрев, однако при этом снижается чувствительность датчика [2]. Снижение чувствительности обусловлено наличием контактных явлений в линии связи датчика и влиянием помех сетевой частоты.

Одним из эффективных способов уменьшения влияния контактных ЭДС является проведение двух измерений с противоположным направлением тока в измерительной цепи и последующим их осреднением.

Для повышения чувствительности предлагается измерительный преобразователь, в котором питание теплового датчика расхода осуществляется двухполярными импульсами одинаковой длительности и амплитуды. При этом длительность импульсов выбирается равной периоду сетевого напряжения.

Предлагаемый измерительный преобразователь позволяет повысить помехоустойчивость и компенсировать влияние переходных процессов, возникающих при смене направления тока в тепловом датчике расхода.

Л и т е р а т у р а

1. Коротков, П. А. Тепловые расходомеры / П. А. Коротков, Д. В. Беляев, Р. К. Азимов. – Ленинград : Машиностроение, 1969.
2. Обновленский, П. А. Тепловые системы контроля параметров процессов химической технологии / П. А. Обновленский, Г. А. Соколов. – Ленинград : Химия, 1982. – 174 с.

УДК 621.396

**ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ СЕЛЕКТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ
НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ****Н. И. Вяхирев***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

В настоящее время заметное внимание уделяется мерам ограничения воздействия электромагнитного излучения на человека и различную радиоэлектронную аппаратуру. Для этого используются радиоприемные устройства, которые позволяют определить уровень электромагнитного излучения в том или ином частотном диапазоне. Выпускаемые промышленностью стран СНГ измерительные приемники, с одной стороны, очень сложные и дорогие устройства, а с другой – такие приборы требуют весьма высокой квалификации работающих с ними.

Предлагаемый в настоящем сообщении измеритель напряженности электромагнитного поля выполнен по классической схеме: приемная антенна – селективный вольтметр. В отличие от промышленных приборов, приемная антенна ненастраиваемая. Она представляет собой петлевой вибратор, один элемент которого в центре нагружен на сопротивление 600 Ом, сигнал с другого через симметрирующе-согласующий трансформатор поступает на вход селективного вольтметра. Антенна является широкополосной. Так, антенна длиной 1,1 м в полосе частот 35–700 МГц в 50-омном тракте имеет КСВ не более трех и на частотах 700–1000 МГц увеличивается до четырех. Некоторое неудобство в использовании такой антенны связано с тем, что на частотах, больших 300 МГц, максимум ДН лежит не в экваториальной плоскости вибратора. Поэтому были опробованы также две антенны: в диапазоне 35–300 МГц – антенна длиной 1,1 м и в диапазоне 300–1000 МГц – антенна длиной 0,27 м.

Селективный вольтметр выполнен из выпускаемых промышленностью телевизионных блоков: селектора каналов, модуля радиоканала и дополнительно входного делителя, блока питания и универсального вольтметра В7-37.

В макете измерителя диапазона 30–300 МГц использовались блоки СК–М–24 и СМРК–1–5. Доработка этих блоков заключалась в перестройке с помощью замены конденсаторов входного фильтра (или его исключения) СК–М–24, исключения автоматической регулировки усиления, а также введения дополнительного канала усиления на диапазон 100–174 МГц (половины второго перестроенного блока СК–М–24). Перестройка полосовых фильтров на выходах усилительных каскадов блока СК–М–24 не делалась. По оценочным расчетам такая перестройка (с возможной заменой некоторых элементов) позволит увеличить чувствительность измерителя напряженности электромагнитного поля как минимум на порядок.

Оценка (экспериментальная и расчетная) основных метрологических характеристик измерителя напряженности электромагнитного поля дала следующие результаты:

- диапазон рабочих частот 30–300 МГц;
- чувствительность по напряженности электрического поля не менее 50 мкВ/м;
- основная погрешность измерителя $\pm 30\%$.

То есть метрологические характеристики измерителя практически такие же, как у существующих промышленных приборов, в то время как стоимость существенно ниже.

УДК 666.1.031

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

Р. В. Манаев, Б. А. Верига

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

Эффективность предприятий стекольной промышленности поддерживается освоением производств стекол с новыми потребительскими свойствами и повышением их качества. Создание стекол с необходимыми свойствами требует знания параметров технологического процесса на микроуровне, то есть на уровне конвекционных потоков и общих тепловых процессов, протекающих в стекловаренной печи.

В большинстве случаев процессы тепломассообмена в стекловаренной печи исследованы в значительной мере упрощенно. При этом эти упрощения зачастую бывают очень существенными (одномерность, стационарность, усреднение теплофизических характеристик по большим объемам и прочее).

Известна модель с использованием уравнения Навье-Стокса для неизотермического течения вязкой сплошной среды в поле сил тяжести в приближении Обербека-Буссинеска:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) \bar{V} = \frac{1}{\rho} \overline{\text{grad} p} + \bar{g} \beta T + \nu \nabla^2 \bar{V}, \quad (1)$$

к ним добавлено уравнение энергии (тепломассообмена):

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{V} \overline{\text{grad} T} = k \nabla^2 T \quad (2)$$

и уравнение неразрывности:

$$\text{div} \bar{V} = 0. \quad (3)$$

Здесь V – поле скоростей течения, T – поле температур, ρ – плотность среды, p – давление, g – вектор ускорения свободного падения, β – коэффициент объемного расширения, ν – кинематическая вязкость, k – температуропроводность, ∇ , ∇^2 – операторы дифференцирования.

В настоящей работе показано, что уравнение неразрывности строго необходимо записать из закона сохранения массы в виде:

$$\text{div}(\rho \bar{V}) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.$$

Так как ρ является функцией координат, получим:

$$\text{div}(\bar{V}) = -\frac{1}{\rho} (\overline{\text{grad} \rho} \cdot \bar{V}),$$

в отличие от (3).

Если использовать полученное уравнение для уравнения Навье-Стокса (1), то оно примет вид:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) \bar{V} = \frac{1}{\rho} \overline{\text{grad} p} + \bar{g} \beta T + \nu \nabla^2 \bar{V} + \frac{1}{3} \cdot \frac{\nu}{\rho} \overline{\text{grad}(\rho \cdot \bar{V})}. \quad (4)$$

Также необходимо учесть, что ρ является функцией давления и температуры, которые различны по вертикальной координате Z , как и различна высота уровня стекломассы $h(x, y)$ по длине стекловаренной печи.

В результате формируется замкнутая система уравнений, которая решается численным методом. Установлено, что в отличие от модели, разработанной в Институте проблем точной механики и управления РАН, потоки стекломассы в продольном направлении несимметричны, так как точка максимальной температуры смещена ближе к области загрузки шихты.

Имеется определенная уверенность, что предлагаемая модель правильно описывает процессы в стекловаренной печи и послужит основой для построения автоматизированной системы управления качеством.

УДК 681.325

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С АДАПТИВНОЙ ОПОРОЙ

М. Н. Барашенко, Ю. А. Козусев

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

Рассмотрим классические быстродействующие последовательно-параллельные 2-тактные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) [1], [2].

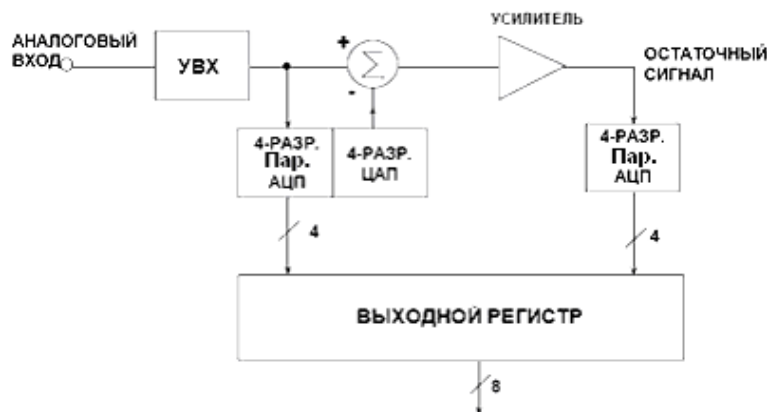


Рис. 1. Классическая структура аналого-цифрового преобразователя

При данной конструкции АЦП время преобразования будет определяться следующим образом: $t_{\Pi} = \tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{ЦАП}} + \tau_{\text{СУМ}} + \tau_{\text{УС}} + \tau_{\text{АЦП}}$.

Ввиду того что сигнал при разбиении на разряды можно представить в виде: $x = 2^n \cdot \bar{x} + \tilde{x}$, где \bar{x} – значение старших разрядов, \tilde{x} – значение младших разрядов, то справедливы следующие неравенства:

$$\begin{cases} \tilde{x} < 2^n \\ 2^n \cdot \bar{x} < 2^n \cdot \bar{x} + \tilde{x} < 2^n \cdot \bar{x} + 2^n = 2^n(\bar{x} + 1). \end{cases}$$

В соответствии с данным положением можно предложить следующую структуру:

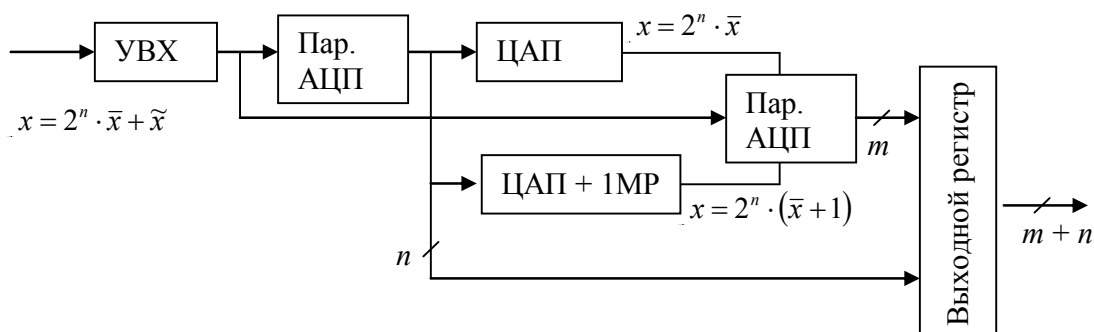


Рис. 2. Аналого-цифровой преобразователь с адаптивной опорой

В этой структуре сигналы $x = 2^n \cdot \bar{x}$ и $x = 2^n \cdot (\bar{x} + 1)$ выступают в качестве опорных напряжений 2-го параллельного АЦП, время преобразования будет определяться следующим образом: $t_{\Pi} = \tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{ЦАП}} + \tau_{\text{АЦП}}$. Следовательно, предлагаемая конструкция имеет меньшее время преобразования по сравнению с существующей.

Литература

1. High speed design techniques, Analog Devices, 1996, Chapter 4, 5.
2. Analog-digital conversion, Walt Kester, 2004, ADI Central Applications Department.

УДК 621.316.925

ВЫДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В. В. Курганов, Ю. В. Крышнев, А. Г. Баранов

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

В зависимости от назначения и функций входными сигналами для микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) являются токи и (или) напряжения фаз защищаемого объекта. Задача МУРЗ – по входным сигналам определить режим работы объекта и при необходимости сформировать управляющее воздействие. При разработке любой системы защиты приходится сталкиваться с проблемой обеспечения двух противоречивых требований: высокого быстродействия и требуемой селективности.

Наибольшим быстродействием обладает способ обработки дискретных отсчетов измерительного сигнала [1]. Несмотря на большую погрешность измерения (особенно при измерении фазы), в сочетании с экстраполяцией данных метод используется в защитах, работающих при насыщении трансформаторов тока, когда другие методы формирования измерительных сигналов дают огромную погрешность, иногда превышающую 100 %.

По теории гармонического анализа, для измерения амплитуды U_m и фазы φ гармонического сигнала, его необходимо разложить на ортогональные составляющие (синусную и косинусную), а затем вычислить амплитуду и действующее значение [1]:

$$U_m = \sqrt{U_s^2 + U_c^2}; \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{U_s}{U_c}. \quad (1)$$

Разложение сигнала на составляющие можно производить как с помощью фазосдвигающей цепи, так и с помощью специального помехоподавляющего фильтра, что более рационально.

Недостатком перечисленных выше способов является высокая погрешность при переходном процессе, т. е. когда амплитуда, частота или фаза сигнала изменяются в течение периода измерения.

Наименьшую погрешность при измерении фазы непрерывно изменяющегося сигнала обеспечивает ДПФ [2], [3]:

$$U_m e^{j\varphi} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cdot e^{\frac{-j2\pi n}{N}}. \quad (2)$$

Как показал вычислительный эксперимент, по формуле (2) в сочетании с оконными функциями и алгоритмами компенсации можно определить динамику частоты основной гармоники сигнала в широком диапазоне даже при наличии сильных помех в виде высокочастотных и апериодической составляющей.

Литература

1. Романюк, Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок / Ф. А. Романюк. – Минск : БГПА, 2001. – 133 с.
2. Рабинер, Л. Р. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Р. Рабинер, Б. Голд ; пер. с англ. ; под ред. Ю. Н. Александрова. – Москва : Мир, 1978. – 637 с.
3. Основы цифровой обработки сигналов : курс лекций / А. И. Солонина [и др.] // Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.

УДК 621.317

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ

В. А. Карпов, Л. А. Захаренко, В. И. Шуликов

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

Е. А. Лядвин

РУП «ВЗЭП», г. Витебск, Республика Беларусь

Основу автоматизации многих технологических процессов составляет измерение и регулирование температуры, как одного из наиболее важных энергетических параметров.

Отечественная промышленность выпускает различные типы цифровых регуляторов температуры, общим недостатком которых является большое количество модификаций, предназначенных для работы со всевозможными видами преобразователей (термоэлектрические преобразователи, термопреобразователи сопротивления).

Сложность создания универсального цифрового регулятора заключается в том, что различные преобразователи температур имеют различные выходные сигналы и различные схемы включения.

В докладе представлен унифицированный цифровой регулятор температуры, позволяющий адаптировать его работу к большинству видов датчиков и основным выходным унифицированным сигналам, имеющий как релейные, так и ПИД-законы управления.

Это достигнуто за счет применения многофункционального микроконтроллера фирмы Microchip PIC16F877A, позволяющего в зависимости от типа выбранного датчика формировать требуемую измерительную схему для ТПС (2-, 3-проводную схему) и осуществить компенсацию холодного спая для различного вида термоэлектрических преобразователей.

Применение многофункционального микроконтроллера позволило не только решить поставленную задачу по унификации прибора, но и оснастить регулятор дополнительными функциональными возможностями, главными из которых являются:

- самонастройка метрологических характеристик регулятора, заключающаяся в подаче на вход калиброванных сигналов, формируемых самим микроконтроллером, позволяющая значительно сократить трудозатраты при выпуске из производства;

- диагностика основных неисправностей датчика и его включения (обрыв соединительных проводов, короткое замыкание датчика, выход сигнала за допустимые режимы).

Основные характеристики цифрового регулятора:

Тип датчика: 50М1, 50М2, 50П1, 50П2, ХА(К), ХК(Л).

Класс точности 0,5.

Тип выходного сигнала 4-20, 0-20 мА.

Максимально коммутируемый ток 2 А.

Индикация: ЖКИ дисплей 2 строки x 8 символов.

Управление: трехкнопочная клавиатура.

Регулируемые параметры: $T_{\text{верх}}$, $T_{\text{ниж}}$, гистерезис для релейных законов регулирования; $T_{\text{уст}}$, $K_{\text{пр}}$, $t_{\text{диф}}$, $t_{\text{инт}}$ для ПИД-закона регулирования.

Мощность 8 ВА.

Габаритные размеры 72 x 72 x 125 мм.

Масса 0,6 кг.

В настоящее время оканчиваются Государственные приемные испытания на РУП «ВЗЭП» (г. Витебск), которые позволят отказаться от выпуска 9-ти модификаций регуляторов и заменить их одним прибором.

УДК 681.06

РЕКУРРЕНТНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕКУЩЕГО СПЕКТРА СИГНАЛА

В. В. Щуплов, А. И. Никеевков

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

Дискретное преобразование Фурье в основе спектрального анализа дискретных сигналов. На практике очень часто требуется оценивать одну или несколько гармоник сигнала. Известно, что ДПФ можно трактовать как обработку сигнала фильтром с соответствующей импульсной характеристикой.

Функция передачи отдельного канала ДПФ n -й гармоники соответствует рекурсивному фильтру N -го порядка, который вычисляет отсчет мгновенного спектра сигнала по последним N отсчетам.

Для упрощения расчетов широко используется алгоритм Герцеля [1, 264]. Однако при этом сигнал обрабатывается порциями по N отсчетов, при этом обнуляется состояние фильтра перед каждой порцией.

Для вычисления одного спектрального отсчета по алгоритму Герцеля требуется $N + 4$ вещественных умножений и $2N + 3$ вещественных сложений.

Для упрощения вычислений текущего значения одного спектрального отчета предлагается использовать алгоритм Герцеля для вычисления только по первому пакету из N отсчетов, а для дальнейших вычислений использовать рекурсивный алгоритм.

Дискретное преобразование Фурье для N отсчетов, начинающихся с 0 и сдвинутых на один шаг вправо, определяется соответственно:

$$S_0(n) = \sum_{k=0}^{N-1} s(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}. \quad (1)$$

$$S_1(n) = \left\{ \sum_{k=1}^N s(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \right\} \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}n}. \quad (2)$$

Множитель $e^{j\frac{2\pi}{N}n}$ учитывает сдвиг второй последовательности на один шаг влево для совмещения первых отсчетов.

После несложных преобразований последовательность $S_1(n)$ можно привести к виду:

$$S_1(n) = [S_0(n) + s(N) - s(0)] \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}n}. \quad (3)$$

Таким образом, если исходный отсчет $S_0(n)$ вычислен по первым N отсчетам, то дальнейший текущий отсчет для n -й гармоники может быть вычислен по формуле (3), из которой видно, что для вычисления текущего отсчета необходимо знать предыдущий отсчет гармоники и два отсчета входного сигнала $s(0)$ и $s(N)$.

Если в исходном состоянии системы гармоника с номером n отсутствовала, т. е. $S_0(n) = 0$, то появление нестационарной системы приводит к появлению n -й гармоники, которая вычисляется по формуле (3).

Л и т е р а т у р а

1. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – // Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 604 с. : ил.

УДК 681.532

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ПУСКА ПРИ КОРРЕЛЯЦИОННОМ ДЕКОДИРОВАНИИ ПСЕВДОШУМОВОГО СИГНАЛА

Е. А. Храбров, В. Н. Гарбуз

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

Применение псевдошумовых сигналов в системах синхронизации позволило по-новому решить задачу вхождения в синхронизм в случае смещения частоты принимаемого сигнала из-за нестабильности или высокого уровня шумов в канале передачи сигнала. Коэффициент автокорреляции одиночного псевдошумового сигнала, заданного на интервале $0-T$, имеет боковые лепестки, амплитуда которых не превышает $\frac{1}{\sqrt{N}}$, где N – число отсчетов псевдошумового сигнала (M -последовательности). Такие свойства M -последовательности используются в одном из основных принципов декодирования сигнала синхронизации – так называемом корреляционном декодировании последовательного действия. Сущность этого принципа в следующем: двоичная последовательность с выхода приемника сравнивается с эталонной, генерируемой в устройстве, и если число совпадений превысит заданный уровень, то выдается сигнал о приеме псевдослучайного сигнала. Ошибка измерения времени появления сигнала при его обработке рассмотренным методом пропорциональна длительности сигнала на выходе фильтра, т. е. интервалу корреляции сигнала $\tau_k = \tau_u$, иначе говоря она равна периоду следования отсчетов M -последовательности. В современных системах синхронизации символы M -последовательности модулируют фазу передаваемой частоты, частота следования символов M -последовательности обычно имеет порядок единиц килогерц, и поэтому несинхронность срабатывания устройств составляет десятые доли миллисекунд. Для уменьшения несинхронности срабатывания можно увеличить частоту следования символов M -последовательности, однако это удорожит приемник.

Для уменьшения несинхронности срабатывания авторами предлагается следующее. С выхода приемника передаваемый с сейсмической станции фазоманипулированный сигнал поступает на фазовый детектор, который работает следующим образом: при фазе сигнала на входе от 0 до 180° на выходе фазового детектора – логическая единица, и, соответственно, при фазе на входе от 180° до 360° – на выходе логический нуль. Сигнал с выхода фазового детектора по стробу выборки следующего отсчета псевдослучайной последовательности поступает на вход корреляционного декодирующего устройства. Стробы выборки следующего отсчета следуют с частотой в n раз больше частоты следования псевдослучайной последовательности. В случае, когда значения фазоманипулированного сигнала близки к нулю, соотношение сигнал – шум также будет близко к нулю, несмотря на значительный размах сигнала на выходе приемника, и вероятность искажения символов значительно возрастет. Отсчеты, соответствующие амплитудному значению сигнала фазового пуска, будут искажены шумом меньше и вероятность искажения в таком случае будет значительно снижена. Каждый принятый отсчет сохраняется в оперативной памяти, и затем производится цифровая корреляция отсчетов принятого сигнала и эталонной псевдослучайной последовательности, хранящейся в флэш-памяти устройства. При превышении числа совпадений над установленным порогом срабатывания декодер выдает на следующую ступень количество совпадений эталонной и приходящей последовательностей. Наибольшее число совпадений соответствует фазе сигнала 90° , и

именно момент прихода этой реализации служит началом фазового пуска и на приемной стороне и на передающей. Несинхронность данного способа декодирования в n раз меньше, чем обычного корреляционного декодирования, но требует в n раз более мощных вычислительных мощностей устройства при одинаковой частоте следования символов M -последовательности.

УДК 621.396.218

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. Д. Ежов

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

Среди многообразных применений персональных компьютеров все большее значение приобретает применение их в управлении техническими процессами в промышленности. В системах управления большого размера, имеющих множество точек взаимодействия с техническим процессом, необходим систематический подход к обработке всех входных данных. Обычно это измеряемые аналоговые величины, или бинарные входные/выходные данные типа «включено/выключено», или «норма/авария». Благодаря регулярности такого представления входные данные обрабатывают универсальной программой сбора и интерпретации данных, учитывающей параметры каждого объекта.

Системы дистанционного мониторинга и управления обычно определяют общим названием SCADA (от Supervisory Control And Data Acquisition – Дистанционное управление и сбор данных). Идея SCADA включает применение совершенных средств отображения, накопления данных и дистанционного управления.

Датчики и исполнительные механизмы однозначно определены в базе как аналоговые, цифровые, счетчик и т.п. объекты. Учитываются также аварийные состояния, которые могут быть просто предупреждениями или могут указывать на нештатную ситуацию, требующую немедленного внимания и реакции. Важнейшей функцией системы управления является быстрое выявление недопустимых режимов и оповещение об этом оператора.

В базе данных хранятся указания на автоматические действия, которые выполняются в определенных ситуациях. Специальная таблица базы данных указывает, при каком значении некоторого параметра вызывается исполнительная команда. Эта таблица работает как программируемый логический контроллер.

В базе данных описаны цифровые регуляторы. В системах прямого цифрового управления регуляторы встроены в базу данных. Распределенные системы управления включают комплексы из микроконтроллера и объекта управления. Микроконтроллер полностью берет на себя управление объектом, обмениваясь с базой только основной информацией.

Модуль визуализации является основным средством диалога оператора с автоматизированной системой, контроля текущих и исторических параметров технологического процесса благодаря развертыванию данных в графическом виде: мнемосхемы, диаграммы, графики трендов и пр. Предоставлены удобные средства для просмотра истории изменения параметров процесса, отслеживания его динамики. Архив используется для просмотра событий SCADA-системы: управляющие действия оператора, изменение настроек, формирование отчетов и т. д.

Таким образом, SCADA-системы позволяют рационально и эффективно управлять техническими процессами, охватывая все его стороны. Это позволяет использо-

вать демоверсии SCADA-систем в учебном процессе для ознакомления студентов с производством.

Литература

1. Олссон, Густав Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Д. Пиани. – Санкт-Петербург : Невский Диалект, 2001. – 557 с. : ил.
2. www.kaskad.zeim.ru.

УДК 550.34.037

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ

А. И. Никеенков, В. В. Щуплов

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

Проведение сейсморазведочных работ требует использования многоканальных кабелей для подключения сейсмодатчиков. Длина сейсмокабеля достигает величины в несколько километров. Это и предполагает определение исправности кабеля только с одной стороны. Наиболее часто встречающееся повреждение кабеля либо обрыв жилы, либо межжильное короткое замыкание.

Разработано устройство, позволяющее определить вид повреждения и место повреждения. В качестве параметров для определения места обрыва используется распределенная емкость кабеля C_x , по величине которой и определяется место обрыва. Причем такое измерение производится на переменном токе с последовательным включением кабеля. При определении места короткого замыкания используется измерение на постоянном токе и параллельное включения кабеля, а в качестве измеряемого параметра используется распределенное сопротивление жилы R_x .

Стандартные значения распределенной емкости – 80 нФ/км, распределенного сопротивления примерно 500 Ом/км. При таких значениях питание переменного напряжения должно иметь частоту примерно 500 Гц и напряжение источника постоянного тока примерно несколько вольт. Схема включения кабеля на постоянном и переменном токе приведена на рис. 1.

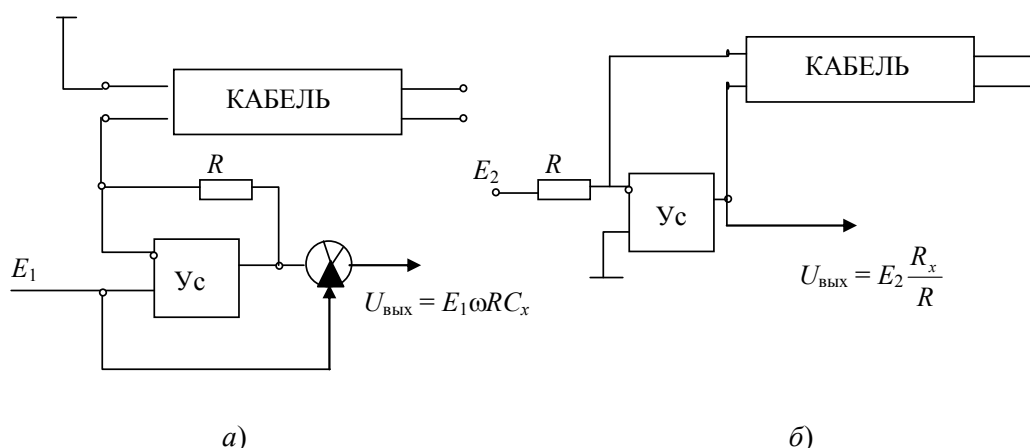


Рис. 1. Схема включения кабеля на постоянном и переменном токе:
 а – последовательное включение; б – параллельное включение.
 E_1 – напряжение питания переменного тока, частотой ω ; E_2 – напряжение источника постоянного тока

При таких включениях кабеля на выходе схемы формируется напряжение пропорциональное расстоянию до места короткого замыкания $S_{кз}$ или до места обрыва $S_{ох}$. Для увеличения чувствительности изменяют частоту или напряжение питания.

Для проверки многожильных кабелей используются многоканальные аналоговые коммутаторы, причем при измерении выбирается одна жила, а все остальные закорачиваются на землю.

УДК 681.58

СИСТЕМА РАДИОУПРАВЛЕНИЯ ВНУТРИТРУБНЫМ СНАРЯДОМ-ГЕРМЕТИЗАТОРОМ

Э. М. Виноградов, А. В. Мельник, Д. Г. Мирошников

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

Внутритрубные снаряды-герметизаторы применяются на нефтепроводах для выполнения ремонтных работ. Опыт их использования на РУП «Гомельтранснефть «Дружба» выявил недостатки существующих снарядов. В них для фиксации герметизатора в требуемом месте необходимо разрушить входную мембрану гидроцилиндра, который прижимает манжеты к стенкам трубопровода за счет давления нефти. В дальнейшем манжеты удерживаются механическими фиксаторами. При удалении герметизатора с места ремонта манжеты, как правило, разрушаются от трения, так как невозможно ослабить действие фиксаторов.

Для преодоления этих недостатков предлагается произвести модернизацию снаряда-герметизатора: заменить мембрану гидроцилиндра на электроуправляемый кран, установить электромагнит для разблокирования фиксаторов, использовать радиоуправление. Управление герметизатором выполняется с помощью трех последовательно подаваемых команд (радиосигналов): команда 1 – на открытие крана, команда 2 – на закрытие крана и команда 3 – на открытие крана и включение электромагнита. Для управления используется радиосигнал частотой 75 Гц. Разделение команд обеспечивается логической схемой, использующей концевые выключатели крана и электромагнита.

Система радиоуправления снарядом-герметизатором состоит из двух независимых блоков: передатчика, предназначенного для излучения частоты 75 Гц (команд); приемника, принимающего команды и управляющего краном и электромагнитом. После выполнения очередной команды приемник выдает звуковой сигнал длительностью около минуты.

Передатчик выполнен в виде переносного прибора, расположенного в ящике размером 420 x 220 x 200 мм. Он питается от аккумуляторной батареи СТ-55. Излучателем является антенна, выполненная в виде рамки размером 500 x 500 мм. Передатчик генерирует в антенну импульсы напряжения прямоугольной формы частоты 75 Гц.

Приемник системы радиоуправления располагается в трех металлических цилиндрических корпусах, расположенных на снаряде-герметизаторе. Он питается от аккумуляторной батареи напряжения 12 В и емкостью 10 Ач.

Блоки передатчика и приемника были изготовлены и проверены экспериментально в лабораторных условиях. В настоящее время ведутся работы по испытанию системы радиоуправления снарядом-герметизатором на РУП «Гомельтранснефть «Дружба».

УДК 621.643.32

СИСТЕМА ДАТЧИКОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Б.А. Верига, В. В. Гизенко, Р. Н. Орышко

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

Предлагается система датчиков для устройств контроля планово-высотного положения магистральных трубопроводов (рис. 1). Такое расположение датчиков позволяет проводить измерение магнитного поля во всех координатных плоскостях.

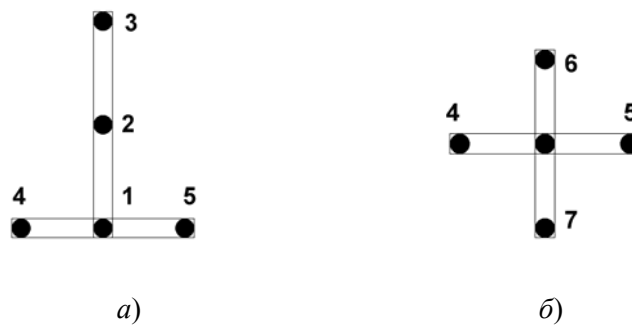


Рис. 1. Система датчиков для устройств контроля планово-высотного положения магистральных трубопроводов: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху

Магнитное поле, измеренное датчиками 1, 2 и 3, позволяет записать систему уравнений:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= H' \cdot \cos(\alpha) + \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r_1}; & H_2 &= H' \cdot \cos(\alpha) + \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot (r_1 + L_1)}; \\
 H_3 &= H' \cdot \cos(\alpha) + \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot (r_1 + 2 \cdot L_1)}, & &
 \end{aligned} \tag{1}$$

где H_1, H_2, H_3 – напряженность магнитного поля, измеренная датчиками 1, 2 и 3 соответственно; H' – напряженность магнитного поля Земли; I – ток, протекающий по трубопроводу; r_1 – глубина залегания трубопровода относительно положения первого датчика; α – угол между направлением вектора напряженности магнитного поля Земли и перпендикуляром к оси трубопровода; L_1 – расстояние между датчиками 1–2 и 2–3.

Решая эту систему относительно глубины залегания трубопровода (r_1) и тока катодной защиты трубопровода (I), получаем следующие выражения:

$$r_1 = 2 \cdot L \cdot \frac{H_2 - H_3}{H_1 - 2 \cdot H_2 + H_3}; \tag{2}$$

$$I = 4 \cdot \pi \cdot L \cdot \frac{(H_1 - H_2) \cdot (H_2 - H_3) \cdot (H_1 - H_3)}{H_1 - 2 \cdot H_2 + H_3}. \tag{3}$$

Система датчиков 4, 5, 6, 7 необходима для позиционирования устройства над осью трубопровода и определения мест утечек защитного тока. Осью трубопровода определяется по измеренной разности уровня магнитного поля датчиками 4 и 5. Так как они располагаются на равном расстоянии от оси, то $\Delta H = H_4 - H_5 = \min$ – критерий положения устройства над осью трубопровода. Анализируя показания всех датчиков системы, можно определить места утечки защитного тока.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет определить следующие параметры: положение оси трубопровода, глубина залегания трубопровода, величина и направление защитного тока, места утечек защитного тока. Основное отличие предлагаемой измерительной системы от существующих заключается в наличии дополнительных датчиков определения оси трубопровода, что позволяет упростить процесс измерений и повысить их точность.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз

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

В Республике Беларусь Законом об энергосбережении определены показатели энергетической эффективности (ЭЭФ): абсолютная величина электропотребления, удельная величина электропотребления на выпуск продукции, целевой показатель по энергосбережению. Однако указанные показатели не всегда позволяют объективно оценивать ЭЭФ.

Абсолютная величина электропотребления – отражает изменение общего Расхода электроэнергии (ЭЭ) промышленного потребителя (ПП), не раскрывая при этом факторов, влияющих на его изменение. Изменение данного показателя в значительной степени обуславливается изменением объемов производства. Данный показатель может использоваться для потребителей, не производящих продукцию, например, объектов соцкультбыта. Удельная величина электропотребления на производство единицы продукции – отражает энергоэффективность отдельного вида выпускаемой продукции и формируется под воздействием основных факторов: производственная программа, характеристики сырья и окружающей среды. Значение данного показателя на производство продукции за отчетный период отражает лишь единичное, среднее значение из всей совокупности возможных значений. Целевой показатель по энергосбережению – интегральный показатель ЭЭФ, характеризующий производственную деятельность всего ПП по реализации мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование ТЭР на всех стадиях его потребления. Отметим, что погрешность в определении ЭЭФ с помощью целевого показателя энергосбережения тем больше, чем больше доля условно постоянной составляющей затрат в структуре общего расхода ТЭР.

Оценка ЭЭФ ПП в условиях часто изменяющейся производственной программы может быть произведена с использованием тангенса угла наклона касательной к кривой удельного расхода ЭЭ в точке, соответствующей текущему объему производства.

В общем виде зависимость удельного расхода ЭЭ от объемов производства для большинства ПП имеет вид:

$$W_{уд} = W_{уд.техн} + W_{общ}/\Pi, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед. прод.}, \quad (1)$$

где Π – объем выпущенной продукции, ед. прод.; $W_{общ}$ – объем потребленной ЭЭ, не зависящий от объемов производства продукции, кВт · ч; $W_{уд.техн}$ – удельный технологический расход ЭЭ, кВт · ч/ед. прод.

Тогда $\text{tg}(\delta)$ можно определить как производную от зависимости 1 по выражению:

$$\text{tg}(\delta) = W_{общ}/\Pi^2, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед. прод.}^2, \quad (2)$$

где $W_{общ}$ – условно постоянный расход ЭЭ, кВт · ч/сут; Π – суточный объем выпускаемой продукции, ед. прод./сут.

Выделены три зоны ЭЭФ по загрузке технологического оборудования, определены приоритетные направления ее повышения в каждой зоне.

Предложено выражение, позволяющее оценить относительное изменение общезаводского удельного расхода ЭЭ при дозагрузке технологического оборудования до 100 %-й производительности:

$$\Delta = \frac{W_{общ}}{W_{уд.техн} \cdot \Pi_{100} + W_{общ}} \cdot \left(\frac{\Pi_{100}}{\Pi_i} - 1 \right) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где Π_{100} – объем производства соответствующий 100 % загрузке технологического оборудования; Π_i – текущий объем производства продукции; $W_{уд.техн}$ – удельный технологический расход электрической энергии на производство продукции, кВт · ч/ед. прод., остающийся неизменным для большинства промышленных предприятий.

УДК 621.311

ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ НЕФТЕПРОВОДА

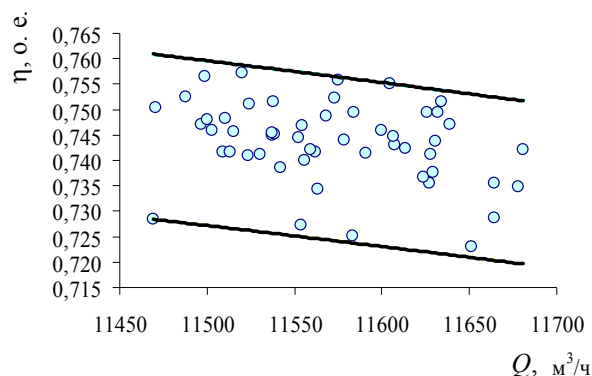
Н. В. Токочакова, А. С. Фиков

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

Управление системой нефтепровода с точки зрения энергосбережения включает в себя ряд задач: управление насосными агрегатами (НА) (в том числе поддержание фактических КПД отдельных НА, близких к паспортным значениям), управление линейной частью нефтепровода. В процессе управления системой нефтепровода любое изменение ее состояния влечет за собой изменение КПД системы нефтепровода (η). Величину η при турбулентном режиме транспортировки нефти в зоне Блазиуса с использованием диспетчерских данных можно определить как:

$$\eta = \left(4,867 \cdot \left(\frac{P}{l} \right)^{2,75} \frac{v^{0,25}}{\rho^{1,75}} \frac{L}{d_s^{4,75}} + 2,724 \cdot \Delta z \cdot \frac{P}{l} \right) / W_{\Phi}, \text{ о. е.}, \quad (1)$$

где P – грузооборот нефти, тыс. т · км/сут; ν – вязкость нефти, $\text{м}^2/\text{с}$; d_3 – эквивалентный диаметр нефтепровода, м; Δz – разность геодезических отметок конца и начала нефтепровода, м; L – протяженность нефтепровода, м; l – протяженность участка нефтепровода на территории Республики Беларусь, км; ρ – плотность нефти, $\text{кг}/\text{м}^3$; W_ϕ – фактический суточный расход электрической энергии (ЭЭ) на транспортировку нефти, $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{сут}$.



Суточные значения КПД системы нефтепровода

На рисунке представлены значения параметра η одного из участков нефтепровода «Дружба». Откуда видно, что при фактических расходах перекачиваемой нефти параметр η изменяется примерно на 4,1 %. Данная величина характеризует максимально возможную экономию ЭЭ от управления системой нефтепровода. Однако реализовать весь выявленный потенциал энергосбережения не удастся, поскольку КПД установленных НА в период между капитальными ремонтами может снижаться на 8–10 %. Управление же системой нефтепровода сводится к минимизации вариации параметра η .

Для экспресс-оценки потенциала энергосбережения предложено следующее выражение, основанное на данных средних значений параметров η двух участков нефтепровода:

$$P_3 = (\delta_1/\delta_2 - 1) \cdot 100 = (\eta_1^\phi \cdot \eta_2^H / \eta_2^\phi \cdot \eta_1^H - 1) \cdot 100, \% \quad (2)$$

где δ_1, δ_2 – коэффициент использования электроэнергии 1-м и 2-м участком нефтепровода соответственно; η_1^ϕ, η_2^ϕ – фактический КПД 1-го и 2-го участка нефтепровода соответственно, о. е.; η_1^H, η_2^H – номинальный КПД 1-го и 2-го участка нефтепровода соответственно, о. е.

УДК 621.311

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УЧАСТКОВ НЕФТЕПРОВОДА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ****А. С. Фиков, П. М. Колесников***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Для расчета целевого показателя энергосбережения в сопоставимых условиях методикой [1] предусмотрено построение модели режимов электропотребления вида:

$$W = \beta \cdot P_{\text{пр}}^{\alpha}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут}, \quad (1)$$

где W – суточное электропотребление по участкам нефтепровода, кВт · ч/сут; $P_{\text{пр}}$ – приведенный суточный грузооборот нефти по участкам нефтепровода, тыс. т · км/сут; α – показатель степени, характеризующий нелинейность взаимосвязи между энергозатратами и приведенным грузооборотом нефти; β – коэффициент пропорциональности между энергозатратами и приведенным грузооборотом нефти.

Коэффициенты регрессии α и β характеризуют не только взаимосвязь энергозатрат и приведенного грузооборота нефти, но и усредненное состояние системы нефтепровода в целом (конфигурация нефтепровода, текущие характеристики насосных агрегатов, физические свойства нефти и т. д.). Поскольку показатель степени α участвует в приведении в сопоставимые условия энергозатрат отчетного периода с базисным периодом, то выявление закономерностей формирования данного параметра является актуальной задачей.

Как и режимы электропотребления участка нефтепровода, показатель α формируется под влиянием двух основных элементов системы нефтепровода: насосные агрегаты (НА), линейная часть. Соответственно изменение показателя α возможно как при неизменном составе насосных агрегатов (за счет изменения характеристики сети), так и при неизменной характеристике сети (за счет изменения состава НА).

Рассмотрены режимы электропотребления участков нефтепровода НРУПТН «Дружба» и на основе аналитических зависимостей показано, что показатель степени α при неизменной характеристике сети в среднем составляет 2,73, а при неизменном составе НА среднем составляет 0,454. На практике за отчетный промежуток времени (целевой показатель энергосбережения рассчитывается ежемесячно) режимы электропотребления многократно меняются как за счет изменения характеристики сети, так и за счет смены состава НА. При этом показатель степени α теоретически может принимать значения от 0,454 до 2,73. Однако следует учитывать вероятностную природу формирования режимов электропотребления, а так же технологическую незавершенность участков нефтепровода. В силу данных причин действительный диапазон значений показателя степени α оказывается несколько шире. Следует отметить, что фактические значения α близкие к 0,5 свидетельствуют о достаточно редкой смене состава НА (или смене состава НА имеющих одинаковые наружные диаметры рабочих колес); значения α близкие к 2,75 свидетельствуют о постоянном имени производительности нефтепровода за счет смены состава НА.

Литература

1. Методика расчета целевого показателя энергосбережения для предприятий транспорта нефти в сопоставимых условиях. – Минск : Белорусский государственный концерн по нефти и химии «Белнефтехим», 14 июня 2005 г. – 31 с.

УДК 62-83:681.518.54: 534.647

КОМПЛЕКСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НА РУП «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ «ДРУЖБА»

В. И. Луковников, Д. А. Хабибуллин, В. В. Шапоров

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

В [1] были изложены основные принципы построения систем и методик комплексного диагностирования технического состояния силового роторного оборудования, позволяющих осуществлять современный подход к обслуживанию и ремонту технического оборудования по его фактическому состоянию.

Апробация результатов этой работы производилась на Республиканском унитарном предприятии «Гомельтранснефть «Дружба» путем комплексного технического обследования насосных агрегатов на насосных перекачивающих станциях «Гомель» и «Защепье».

Целью обследования являлось определение технического состояния насосных агрегатов, выдача заключения о прогнозируемом ресурсе безотказной работы и рекомендаций по устранению выявленных дефектов.

Комплексность обследования заключалась в том, что работающие агрегаты подвергались одновременному вибродиагностированию с помощью переносного виброанализатора СК-2300 (Россия, г. Москва, ИТЦ «Оргтехдиагностика») и стационарной вибродиагностической системы «АС «ДИАГНОСТИКА – КВТД» (Украина, г. Киев, НПФ «ДАТОС Лтд») на НПС «Гомель». На НПС «Защепье» одновременное вибродиагностирование осуществлялось с помощью переносных виброанализаторов СК-2300, ТОПАЗ-В (Россия, г. Москва, НПФ «Диамех»), Корсар++ (Россия, г. Пермь, НПП «Рос»).

Кроме того, агрегаты обследовались путем измерения величин сопротивления изоляции статорных обмоток и коэффициентов абсорбции.

Результаты комплексного диагностирования и определения технического состояния насосных агрегатов НПС «Гомель» и НПС «Защепье» подтвердили правильность предложений работы [1] и показали, что по длительности срока эксплуатации, вибрационному состоянию узлов, сопротивлениям и коэффициентам абсорбции изоляции статорных обмоток электродвигатели агрегатов № 2 и 3 насосной № 2 НПС «Гомель», а также все электродвигатели насосной № 1 НПС «Защепье» требуют капитального ремонта с заменой обмоток.

Учитывая, что срок службы двигателей, установленных в насосной № 1 НПС «Защепье», исчерпан, а капитальный ремонт составляет 30–40 % от стоимости электродвигателя, было рекомендовано заменить указанные электродвигатели на новые.

Литература

1. Луковников, В. И. Комплексное диагностирование технического состояния силового роторного оборудования / В. И. Луковников // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2004. – № 4. – С. 63–68.

СЕКЦИЯ Д. АЭРО-, ГИДРОДИНАМИКА; ПНЕВМО- И ГИДРОСИСТЕМЫ МАШИН И АППАРАТОВ

УДК 621.643.44.762

ПОВЫШЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМОЦИЛИНДРОВ

Н. А. Новикова, А. И. Новиков

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

Уплотняющими элементами пневмоцилиндров обычно являются резиновые манжеты. В процессе работы манжета совершает возвратно-поступательное перемещение относительно рабочей поверхности (зеркала) цилиндра при одновременном прижиге к зеркалу рабочей поверхности запирающей лопасти, т. е. рабочая поверхность манжеты и зеркало цилиндра являются парой трения. Поскольку резина имеет высокий коэффициент трения и не обладает высокой износостойкостью, то для работы уплотнений пневмоцилиндров характерны такие недостатки, как значительные энергозатраты на перемещение манжет, износ последних и необходимость в регулярной смазке уплотнения.

Устранение отмеченных недостатков является важной технической задачей техники уплотнений пневмоцилиндров, и решаться эта задача очевидно должна путем повышения антифрикционных свойств трущейся поверхности запирающей лопасти манжеты.

Нами разработано несколько способов повышения антифрикционных свойств резиновой манжеты путем создания на ее трущейся поверхности антифрикционного слоя, наполненного частицами твердой смазки (ТС).

В качестве ТС нами использовались зерна, получаемые путем измельчения (до зернистости 0,1–0,2 мм) в ножевой мельнице предварительно спеченного наполненного дисульфидом молибдена (4 % весовых) фторопласта-4 и обладающие весьма высокими антифрикционными свойствами.

Сущность технологии одного из способов получения антифрикционного слоя состоит во вдавлении частиц ТС в трущуюся поверхность манжеты еще на стадии «сырой резины» (до спекания) ее изготовления. Последующее прессование и спекание манжеты обеспечивает надежное удерживание частиц ТС на трущейся поверхности манжеты, что обеспечивает эффект антифрикционности.

Сущность другого технологического варианта получения антифрикционного слоя состоит в следующем. Сначала готовится тонкая (0,4–0,6 мм) полоска из сырой резины, наполненной частицами ТС, а затем на стадии прессования манжеты эта полоска устанавливается в пресс-форму таким образом, что после прессования и спекания она становится трущейся поверхностью манжеты. Полученный таким образом слой обладает высокой износостойкостью, удовлетворительным коэффициентом трения и существенной адгезионной неприлипаемостью манжеты к зеркалу цилиндра при длительных остановках. Опробованы и другие варианты технологии получения такого покрытия.

В изготовленной манжете ее запирающая резиновая лопасть является подложкой для антифрикционного слоя, что обеспечивает манжете обычную конструкционную прочность и эластичность, что существенно, поскольку сам слой этими свойствами в достаточной мере не обладает.

Существенным недостатком рассматриваемого способа получения антифрикционного слоя являются его (пока) недостаточная технологичность, ограничивающая массовое производство манжет с таким покрытием.

УДК 550.34.037

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗБУДИТЕЛЯ ВИБРАЦИЙ ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

С. П. Кротиков, Ю. В. Кобрусев

ОАО «Сейсмотехника», г. Гомель, Беларусь

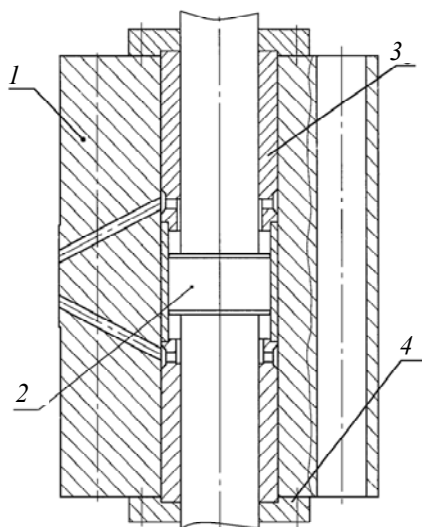
А. В. Михневич

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

Данная работа посвящена дальнейшей модернизации источника сейсмических сигналов, применяемого для поиска нефтяных, газовых и рудных месторождений.

Целью работы являлась разработка новых конструкторских решений, позволяющих увеличить надежность и долговечность возбудителя вибраций. В ходе проведенных исследований был разработан и запатентован ряд новых конструкций возбудителя вибраций, производство которых начато в ОАО «Сейсмотехника».

Разработанный возбудитель вибраций представляет собой типовую модульную конструкцию, состоящую из корпуса 1, плунжера 2, втулок 3 и крышек 4, изображенных на рисунке.



Возбудитель вибраций

При подаче рабочей жидкости в рабочие полости под высоким давлением на плунжер действует переменная циклическая осевая сила. Сложение этих сил, действующих на плунжер, в ранее разработанных конструкциях вызывало потерю его осевой устойчивости и приводило к изгибу. Изгиб плунжера вызывал интенсивный износ втулок и приводил к заклиниванию инерционной массы. Техническое решение этой проблемы было найдено и заключается в изменении конструкции плунжера. Он изготавливается с резьбовыми хвостовиками и растянут гайками. Возбудитель вибраций усилением, превышающим в 1,2–1,4 раза номинальное толкающее усилие возбудителя вибраций, позволяет обеспечить прямолинейность плунжера в процессе работы.

В процессе колебания инерционной массы на плунжере при низких частотах до 8 Гц, а также в процессе настройки возбудителя происходит колебание инерционной массы на полный конструктивный ход, что приводит к жесткому контакту торцов втулок с торцами плунжера. Жесткий контакт приводит к преждевременному выходу из строя как втулок, так и плунжера. Эта проблема была решена применением гидравлических демпферов, оппозитно расположенных относительно плунжера. Демпфер представляет собой кольцевые выступы с цилиндрическими и коническими поверхностями, выполненными на плунжере и кольцевые проточки на внутренних поверхностях втулок, позволяющих постепенное гашение скорости перемещения инерционной массы при работе возбудителя вибраций на малых частотах до 8 Гц.

Проведенные испытания усовершенствованных возбудителей вибраций показали существенное повышение надежности источника сейсмических сигналов. В частности, интенсивность отказа возбудителя вибраций снизилась в 1,5 раза.

УДК 550.34.037

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ-УСИЛИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО

А. П. Андросенко, А. А. Певнев, О. А. Кончиц

ОАО «Сейсмотехника», г. Гомель, Беларусь

А. В. Михневич

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

Преобразователь-усилитель электрогидравлический предназначен для преобразования заданного электрического сигнала в усиленный по мощности пропорциональный поток рабочей жидкости и передачи его на возбудитель вибраций источника сейсмических сигналов.

Целью данной работы является усовершенствование конструкции преобразователя-усилителя, позволяющее увеличить надежность и долговечность всего изделия.

Преобразователь-усилитель электрогидравлический представляет собой конструкцию, состоящую из электромеханического преобразователя, управляющего каскада, корпуса, распределительного золотника и датчика обратной связи.

Электромеханический преобразователь под воздействием определенного электрического сигнала приводит в движение распределительный золотник управляющего каскада. При этом рабочая жидкость под давлением поступает по каналам на один

из торцов распределительного золотника, который перемещает сердечник датчика обратной связи.

В таком положении золотника рабочая жидкость под давлением поступает из канала подачи в одну из полостей исполнительного механизма, а отработанная рабочая жидкость из другой полости поступает в канал слива.

Реверсирование процесса осуществляется перемещением управляющего золотника в противоположную сторону, при этом поток рабочей жидкости направляется в другую полость исполнительного механизма. Далее циклы повторяются.

Для улучшения эксплуатационных характеристик в корпусе преобразователя-усилителя были выполнены круговые расточки. Это позволило убрать перемычки, которые занимали 1/3 площади окна; при этом зазор для прохождения жидкости увеличился до 360° при том же диаметре втулки и ходе поршня.

Максимальный расход рабочей жидкости на управление распределительным золотником рассчитывается по формуле (1):

$$Q = 4\pi \cdot f_m \cdot S_p \cdot p_p, \quad (1)$$

где f_m – максимальная рабочая частота гидроусилителя; S_p – площадь торца распределительного золотника; p_p – наибольшее перемещение золотника.

Из формулы (1) видно, что при сохранении расхода рабочей жидкости и увеличении площади торца распределительного золотника можно уменьшить перемещение золотника и соответственно управляющий сигнал. При этом увеличивается максимальная рабочая частота, что улучшает гидравлические характеристики усилителя. Уменьшение нагрузки управляющего сигнала позволяет создать запас по нагрузке системы, что увеличивает надежность и долговечность всего источника сейсмических сигналов.

Испытания преобразователя-усилителя электрогидравлического показали улучшение частотных характеристик аппарата, а также повышение надежности всего источника сейсмических сигналов.

УДК 550.34.037

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А. П. Андросенко, С. П. Кротиков, С. П. Емельянчиков

ОАО «Сейсмотехника», г. Гомель, Беларусь

В. В. Пинчук

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

Устройство для хранения и транспортирования нефтепродуктов (УХТН) относится к средствам хранения и транспортирования жидкостей и может применяться в полевых и стационарных условиях, а также во всех отраслях народного хозяйства, связанных с приемом, хранением и выдачей жидкостей, преимущественно нефтепродуктов.

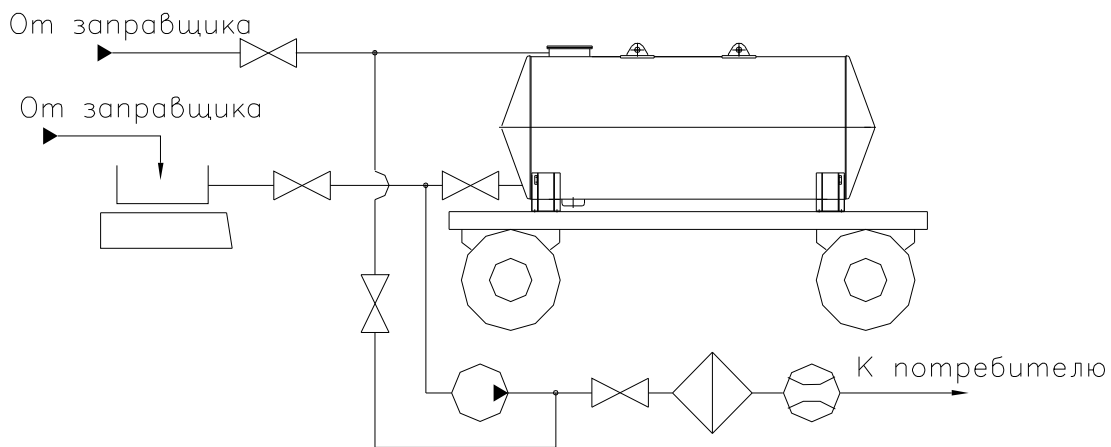
Из известных аналогов наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является устройство для хранения и транспортирования нефтепродуктов, включающее транспортное средство, на котором смонтирован резервуар

с горловиной и крышкой. На крышке резервуара установлена сливноналивная труба с выходным патрубком. В нижней части резервуара установлен выходной патрубок.

Эксплуатация устройства осуществляется следующим образом. При помощи транспортного средства устройство перевозится на рабочую точку. После установки на рабочей точке к фланцу сливноналивной трубы подстыковывают рукав средства перекачки, посредством работы которого осуществляется налив или слив нефтепродуктов из резервуара. Недостатком данного агрегата является то, что в нём возможно выполнение достаточно ограниченного количества операций.

Для расширения эксплуатационных характеристик УХТН снабжено насосным агрегатом со всасывающей и нагнетательной магистралями и дополнительной емкостью с выходным ее патрубком, при этом всасывающая магистраль соединена через первый кран с выходным патрубком резервуара, второй кран – с выходным патрубком дополнительной емкости, а нагнетательная магистраль связана через третий кран, фильтр и расходомер, связана с потребителем и гидролинией через четвертый кран – с входным патрубком резервуара.

На рисунке показана принципиальная гидравлическая схема УХТН.



Устройство для хранения и транспортирования нефтепродуктов

Указанные преобразования УХТН расширяют функциональные возможности устройства и позволяют снизить предъявляемые требования к сторонним механизмам, расширить количество возможных комбинаций по закачке нефтепродуктов.

УДК 620.92;532.533

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА НА УПРУГОЙ ПОДВЕСКЕ

Ю. А. Кашин, И. В. Сафонов

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

Р. Е. Кашина

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

Рассматриваются малые возмущения движения ветрогенератора и их асимптотическая устойчивость по Ляпунову при работе этой аэродинамической машины в режиме, близком к режиму наивысшего уровня конверсии энергии ветра, определенному в [1].

На ветроколесо машины действуют сила P лобового давления ветра, набегающего со скоростью U , и осевая восстанавливающая сила Q упругой подвески. При этом ветрогенератор получает аксиальное смещение x и поступательно движется со скоростью $V = dx/dt$. Момент M аэродинамических сил принуждает колесо вращаться с угловой скоростью ω . Со стороны электрогенератора на это колесо действует противоположный момент L электромагнитных сил, соответствующей мощности развиваемой этим электрогенератором:

$$N = \omega L.$$

Динамическое состояние ветрогенератора описывается системой двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = P - Q, \\ I\dot{\omega} = M - L, \end{cases}$$

где m – масса ветрогенератора, I – приведенный момент инерции его вращающихся элементов.

Предполагается, что параметры исполнения и состояние решетки лопастей ветроколеса назначены из условия достижения при его данной угловой скорости вращения ω_0 и при данной скорости ветра U стационарного режима наивысшего уровня конверсии энергии ветра, характеризуемого данными значениями $P_0 = Q_0$, $M_0 = L_0$. Это позволяет существенно упростить задачу линеаризации аэродинамических характеристик процесса при малых возмущениях в окрестности рассматриваемого стационарного режима и выделить наиболее значимые факторы, стабилизирующие процесс. На основе критерия Рауса–Гурвица простроен алгоритм, позволяющий в пространстве параметров системы определить область асимптотической устойчивости. Приводятся результаты численного эксперимента, иллюстрирующего процесс потери устойчивости работы ветрогенератора на границе этой области.

Литература

1. Кашин, Ю. А. Автономная ветроэнергетическая установка (АВЭУ) с максимальным уровнем конверсии энергии ветра. Математическая модель ветротурбины / Ю. А. Кашин, Р. Е. Кашина // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2004. – № 3. – С. 59–64.

УДК 536.24

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОТДАЧИ
ПРИ КИПЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ
НА ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ**

А. В. Овсянник, Н. А. Вальченко, Д. А. Дробышевский

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

Широкое распространение в теплообменных аппаратах, применяемых в современной промышленности, получили оребренные поверхности различных типов.

В настоящее время не существует аналитических методов, позволяющих с достаточной практической достоверностью определять интенсивность теплообмена при кипении жидкостей на оребренных теплоотдающих поверхностях. Поэтому практическое значение приобретают полуэмпирические зависимости, подтвержденные экспериментально.

Результаты экспериментальных исследований влияния параметров оребрения на теплообмен при кипении ацетона и этилового спирта на продольно оребренных образцах показали, что в исследованном диапазоне изменения плотности теплового потока возможны три режима теплообмена: свободная конвекция, неразвитое и развитое кипение. Также было установлено положительное влияние оребрения (относительно гладких полированных и технически шероховатых поверхностей) на теплообмен при кипении.

При кипении жидкости на оребренной поверхности учитывались свойства данной поверхности нагрева.

По результатам экспериментальных данных были получены качественные и количественные зависимости температурного напора от подводимой мощности и плотности теплового потока при кипении ацетона и этилового спирта при давлении насыщения 0,1 МПа.

Опытные данные настоящего исследования, подтверждают эффективность применения оребрения. Интенсификация процесса теплообмена наблюдалась во всем диапазоне тепловых нагрузок. Значения коэффициентов теплоотдачи в 2–4 раза превышали аналогичные величины для полированной и технически шероховатой поверхностей.

Интенсивность теплоотдачи, при развитом пузырьковом кипении на ребре, практически не зависела от профиля ребра при прочих равных условиях. С повышением тепловых нагрузок усиливалось влияние «запаривания» поверхности, что приводило к ухудшению теплообмена.

Получены эмпирические критериальные уравнения для расчета интенсивности теплоотдачи на ребре продольного профиля, при кипении ацетона и этилового спирта, описывающие результаты экспериментальных исследований с погрешностью $\pm 25\%$, допустимой для теплотехнических расчетов.

УДК 536.24

**ТЕПЛОТДАЧА ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНА-134А
НА ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В БОЛЬШОМ ОБЪЕМЕ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДАВЛЕНИЯХ НАСЫЩЕНИЯ****А. В. Овсянник, Д. А. Дробышевский, Н. А. Вальченко***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Теплофизические свойства жидкостей существенно влияют на интенсивность теплоотдачи при кипении, и, в связи с принятием Монреальской конвенции, запрещающей использование озоноразрушающих хладагентов, необходимо вести поиск экологически безопасных и нетоксичных рабочих тел, способных обеспечить эффективный теплообмен.

Этого можно достичь выбором хладагентов, имеющих высокую энергетическую эффективность и низкий потенциал глобального потепления. Таким требованиям в значительной степени удовлетворяют углеводороды, обладающие хорошими теплофизическими и термодинамическими свойствами и группа фреонов, имеющих нулевой озоноразрушающий потенциал и низкий потенциал глобального потепления. К таким фреонам относится, в частности, R134a, являющийся хорошим заменителем запрещенного к применению фреона R12.

Сведений по кипению фреона-134a при различных значениях давлений насыщения опубликовано сравнительно немного, и носят ограниченный характер [1]–[3].

Для обеспечения режимов работы теплообменного оборудования с минимальными энергетическими затратами большее значение приобретают теоретические и экспериментальные исследования влияния на интенсивность теплообмена условий, при которых происходит процесс кипения. Величина коэффициентов теплоотдачи при кипении жидкости зависит от давления, повышение которого приводит к интенсификации теплообмена, причем степень влияния давления по-разному проявляется в зависимости от вида теплоотдающей поверхности и теплофизических свойств жидкости.

Экспериментальные исследования по теплоотдаче при кипении фреона-134a проводились на горизонтальных продольно-оребранных трубчатых поверхностях нагрева, выполненных из дюралюминия, при давлениях насыщения $p = 0,4 \div 0,7$ МПа и температурах насыщения $t_n = 9,8 \div 27,5$ °С.

Из анализа экспериментальных данных следует, что коэффициент теплоотдачи непрерывно возрастает с увеличением давления насыщения, при увеличении плотности теплового потока степень влияния давления насыщения снижается. Для оребранных поверхностей степень влияния давления насыщения проявляется в большей степени, нежели для гладкой поверхности.

Л и т е р а т у р а

1. Данилова, Г. Н. Экспериментальное исследование теплообмена при кипении холодильных агентов на интенсифицированных поверхностях теплообмена / Г. Н. Данилова, А. В. Тихонов // Кипение, кризисы кипения, закризисный теплообмен: тр. I Рос. нац. конф. по теплообмену (Москва, нояб. 1994 г.). – Москва: Изд-во МЭИ, 1994. – Т. 4. – С. 91–95.
2. Железный, В. П. Эколого-энергетические аспекты внедрения альтернативных хладагентов в холодильной технике / В. П. Железный, В. В. Жидков. – Донецк: Донбасс, 1996. – 144 с.

3. Мааке, В. Учебник по холодильной технике / В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Кошпен Ж.-Л. Польманн. – Москва : Изд-во МГУ, 1998. – 1142 с.

УДК 62-82-112.6(083.13)

АДАПТАЦИЯ ГИДРОПРИВОДА С ОДНОВРЕМЕННО РАБОТАЮЩИМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ К НАГРУЗКЕ

А. А. Гинзбург

Гомельское РУП «ГСКТБ ГА», Беларусь

В. В. Пинчук

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

Для современного уровня развития техники характерно существенное увеличение количества гидрофицированных машин и технологического оборудования, к гидроприводам которых предъявляется требование одновременного осуществления нескольких операций исполнительных органов.

Как правило, основной проблемой, возникающей при одновременном независимом регулировании скоростей нескольких рабочих органов гидропривода, является чрезмерный уровень энергетических потерь и недопустимо низкий КПД гидросистемы.

Энергетику такой системы можно наглядно представить в виде диаграммы, построенной в координатах «давление – расход» (рисунок). На этой диаграмме потребляемая мощность численно равна площади большого прямоугольника, полезная мощность – сумме площадей малых прямоугольников (двойная штриховка), а площадь участка, заштрихованного однократной штриховкой, численно равна величине энергетических потерь в системе.

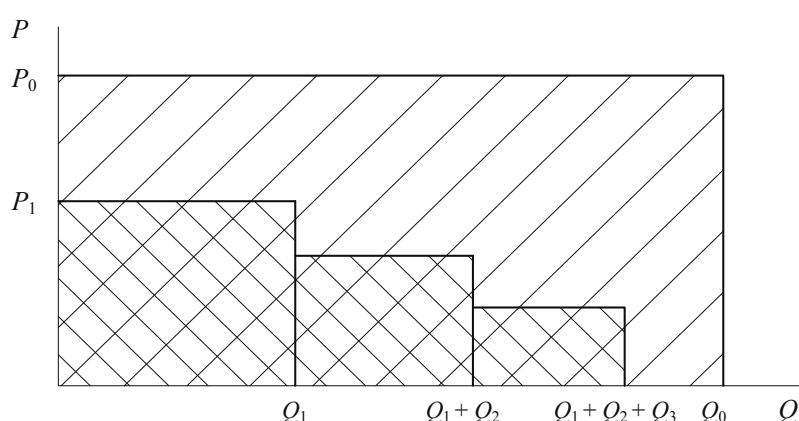


Диаграмма «давление – расход»

Результатом неправильного выбора размеров исполнительных органов может явиться либо неработоспособность привода, обусловленная перегревом рабочей жидкости, либо его неэкономичность. А из этого, в свою очередь, следует вывод о

том, что проектирование подобных систем должно проводиться на основе детального анализа параметров работы всех исполнительных органов на всех этапах рабочего цикла.

Помимо этого, при разработке гидропривода следует обеспечивать достаточно высокий уровень рабочих давлений за счет соответствующего выбора элементной базы привода, в первую очередь, насосной группы, гидроаппаратуры и исполнительных органов.

УДК 62-82-112.6(083.13)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОССЕЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

А. А. Гинзбург

Гомельское РУП «ГСКТБ ГА», Беларусь

В. В. Пинчук

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

Суть дроссельного регулирования скорости рабочего органа заключается во введении в гидросистему регулируемого сопротивления, величина которого определяет величину расхода рабочей жидкости. Этот способ регулирования является наиболее широко распространенным вследствие его простоты и возможности обеспечения высоких статических и динамических регулировочных характеристик.

Наиболее распространенные схемы дроссельного регулирования скорости приведены на рис. 1.

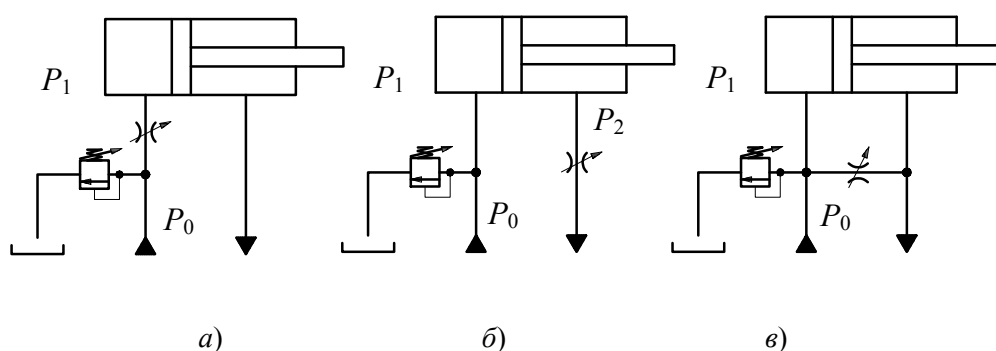


Рис. 1. Схема дроссельного регулирования скорости

Анализ работы схем, приведенных на рис. 1, *а*, *б*, позволяет сделать выводы, что при регулировании скорости дросселем, установленным последовательно с исполнительным органом:

1. Регулирование расхода возможно только при постоянном и максимальном входном давлении.

2. Энергетические потери в системе и ее КПД зависят от величины нагрузки на исполнительном органе, причем с падением нагрузки КПД падает, стремясь к нулю, а энергетические потери растут.

3. Расход, протекающий через дроссель, а следовательно, и скорость исполнительного органа привода, существенно зависят от нагрузки на исполнительном органе.

Анализ схемы параллельного дросселирования (рис. 1, в) показывает, что в сравнении с вариантами рис. 1, а, б:

1. Регулирование скорости происходит при меньших давлениях.

2. Энергетические потери в системе оказываются меньшими, а КПД, соответственно, более высоким.

3. Скорость исполнительного органа зависит от нагрузки в большей степени.

Таким образом, преимущественной областью применения схемы параллельного дросселирования должны являться системы с незначительной, слабопеременной или постоянной нагрузкой исполнительных органов, где она является предпочтительной по сравнению со схемой последовательного дросселирования.

УДК 629.114.2

АЭРОДИНАМИКА ПОТОКА ВОЗДУХА В ВОЗДУШНОМ ТРАКТЕ ТРАКТОРА

А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко

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

Воздушный тракт трактора, его компоновка определяют как в количественном, так и в качественном отношении прохождение потока воздуха через радиаторы. Он является тем внешним фактором, от которого зависит тепловой режим двигателя, так как функциональное назначение воздушного тракта заключается в обеспечении отвода теплоты от двигателя.

Одна из задач при разработке конструкции узлов охлаждения заключается в экономии цветного металла, снижении затрат мощности двигателя на привод агрегатов, обслуживающих систему охлаждения, при одновременном обеспечении необходимого температурного режима при различных условиях эксплуатации. Для обеспечения экономии цветного металла необходимо стремиться к созданию радиатора с ограниченными габаритно-массовыми параметрами. Второе условие выполняется при минимальном аэродинамическом сопротивлении, так как сопротивление радиатора характеризует затраты мощности на продувку воздуха через сердцевину.

Исследования воздушного тракта в полной тракторной комплектации проводились на аэродинамической установке. Аэродинамическая установка прямого действия расположена горизонтально по оси всасывания осевого вентилятора двигателя. В аэродинамической установке смонтированы все узлы и агрегаты, устанавливаемые в воздушном тракте трактора. Вся установка смонтирована на бруске трактора, за ней установлен двигатель, закапотированный капотом.

При аэродинамических исследованиях определялась зависимость сопротивления воздушного тракта от массового расхода воздуха при полной комплектации моторной установки и при удалении отдельных узлов и деталей, влияние на аэродинамическое сопротивление передних сеток с различным живым сечением по воздуху. Определялось влияние внешних форм элементов двигателя и конструкции капота, а также конструкции сердцевин радиаторов на аэродинамическое сопротивление в зависимости от расхода воздуха.

В начале исследований с каждой комплектацией определялся коэффициент неравномерности поля скоростей воздуха. Для определения коэффициента неравномерности производился замер скоростей в ряде равнорасположенных точек.

Скорость воздуха в центре всасывающего патрубка рассчитывалась по величине разности полного и статического давления, определяемого микроманометром типа ММН-240 с ценой деления 0,1 мм спиртового столба. Расчёт скорости, расхода и перепада давления воздуха проводился по классическим формулам.

Аэродинамическое сопротивление воздушного тракта или отдельных его узлов определялось по перепаду статического давления воздуха на входе и выходе. Коэффициент аэродинамического сопротивления ξ определялся по результатам экспериментального исследования как отношение аэродинамического сопротивления к скоростному напору воздуха в воздушном тракте.

При полной комплектации воздушного тракта коэффициент аэродинамического сопротивления в диапазоне частоты вращения коленчатого вала двигателя от 1400 до 2350 мин изменяется в пределах от 8 до 9,92, с уменьшением расхода воздуха значение коэффициента увеличивается. С удалением агрегатов от воздушного тракта коэффициент уменьшается. Наибольшее влияние на значения коэффициента оказывают радиатор охлаждения, радиаторы кондиционера и масляный, передняя сетка капота.