

Редакционный совет

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф., председатель
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф., зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.
Астафичев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Редакция

Главный редактор
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации

Заместители главного редактора

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф., член-кор. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубчанинов В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф.
Колесников К.С. д-р техн. наук, проф., академик РАН

Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф.
Корндорф С.Ф. д-р техн. наук, проф.
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф.
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф., академик РАН
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск

Григорьева О.Ю.

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
43-48-90
www.ostu.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство: ПИ № ФС77-35719 от 24 марта 2009 года

Подписной индекс **29504** по объединенному каталогу «Пресса России»

© ОрелГТУ, 2010

Содержание

Естественные науки

Гордон В.А., Бруслова В.И., Кравцова Э.А., Потураева Т.В. Математическое моделирование динамических процессов в стержневых системах при внезапных изменениях их структуры.....	3
Кузнецов Э.Г., Савин Л.А. Исследование расходных характеристик торцевого затворного импульсного уплотнения.....	9
Поландов Ю.Х., Бабанков В.А. Об особенностях взрыва газо-воздушной смеси в закрытых цилиндрических камерах.....	14
Куценко С.А., Винокуров А.Ю., Седов Ю.А. Оптимизация технологических параметров производства катионного крахмала.....	20
Букетов А.В., Шоркин В.С. Определение и изменение механических свойств композитных материалов.....	25

Моделирование технологических процессов

Гущина Т.В. Контроль качества и безопасности производства продукции АПК.....	27
Кириллов О.Н. Моделирование процесса взаимодействия непрофилированного нежесткого электрода инструмента с объектом обработки.....	31
Киричек А.В., Селеменов М.Ф., Селеменов К.Ф., Шумаев Е.В., Осипова А.Ф. Моделирование технологических процессов нарезания и накатывания резьб в сae-системах (DEFORM-3D).....	35

Конструирование, расчеты, материалы

Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Метод получения наноструктурных порошков на основе системы WC-Co и устройство для его осуществления.....	39
Бердичевский Е.Г. Модификаторы трения как основа смазочных композиций для металлообработки.....	43
Лукин Е.С., Иванов А.М. Прочность и диссипация энергии при пластической деформации конструкционной стали.....	47
Тыр В.Р., Косаревский С.В. Подход к проблеме хранения и систематизации планов контроля на современных координатно-измерительных машинах.....	52
Рыбак Л.А., Гапоненко Е.В., Черкашин Н.Н. Синтез алгоритмов управления движением робота-станка с параллельной кинематикой на основе теории нейронных сетей.....	55

Машиностроительные технологии и инструменты

Еренков О.Ю., Гаврилова А.В., Калита Е.Г., Картезев Д.В. Исследование процесса стружкообразования при точении термопластичных полимерных материалов.....	60
Дьяконов А.А. Задачи и особенности многокритериальной трехмерной модели теплофизики процессов абразивной обработки.....	65
Ледков Е.А., Химухин С.Н., Давыдов В.М. Влияние ультразвуковой обработки на микрорельеф и свойства покрытий, получаемых методом электроискрового легирования.....	72
Смоленцев Е.В. Доводка рабочих поверхностей зубчатых колес комбинированным методом.....	79

Машины, аппараты, технологии легкой и пищевой промышленности

Гатилова Е.В., Ивахненко А.Г. Контроль качества водок на этапе их розлива.....	83
Павловская А.А., Кваскова Т.В., Машикей Г.В. Научно – технические подходы к разработке специальной одежды для работы с ядохимикатами.....	91
Проконова Е.В., Моськина Е.Л. Не радикальные композиционные изменения - как способ расширения ассортимента швейных изделий.....	95
Родичева М.В., Абрамов А.В., Родичева П.А. Улучшение эргономических свойств специальной одежды путем создания вентилируемых воздушных прослоек.....	98

Инновации и кадры в машиностроении

Моськина Н.Е. Система тестового оценивания качества сформированности профессиональных компетенций выпускников машиностроительного профиля.....	102
Морозова А.В. Применение квалиметрических методов в оценке специалиста технического профиля.....	105

Приборостроение и биотехнические системы

Хорольский В.Я., Бондарь М.С., Ефанов А.В. Применение метода ньютона в задачах повышения метрологической надежности цифровых электроизмерительных приборов.....	111
---	-----

Испытания, контроль, диагностика и управление качеством

Гаврилина В.А. Применение спектральных отношений для качественного анализа вина методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с многоволновым спектрофотометрическим детектированием.....	115
Космодамианский А.С. Разработка блока управления автоматической системы гребнесмазывания бандажей колесных пар локомотивов.....	122
Пахолкин Е.В. Экспериментальные исследования смазывающей способности моторных масел электрическим методом.....	125

Editorial council

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president
Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.
Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.
Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

Editor-in-chief

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.,
honored worker of science of Russian
Federation

Editor-in-chief Assistants

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech.,
Prof.

Member of editorial board

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof.
Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Corresponding Member of RAS
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.
Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph.-Math., Prof.
Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech.,
Prof., Academician of RAS
Korndorf S.F. Doc. Sc. Tech., Prof.
Malinin V.G. Doc. Sc. Ph.-Math., Prof.
Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof.
Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.
Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Academician of RAS
Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.
Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition

Grigorieva O.Yu.

Address

302020 Orel,
Naugorskoye Chaussee, 29
(4862) 43-48-90, 41-98-48, 55-55-24,
41-98-21
www.ostu.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Department for Mass Communication. The certificate of registration ПИ № ФС77-35719 from 24.03.2009

Index on the catalogue of the «**Pressa Rossii**» 29504

© OSTU, 2010

Contents

Natural science

<i>Gordon V.A., Brusova V.I., Kravtsova E.A., Poturaeva T.V.</i> Mathematical modelling of dynamic processes in the rod systems at sudden structural reconstructions.....	3
<i>Kuznezov E.G., Savin L.A.</i> Flow characteristic study of face bolt pulse seals.....	9
<i>Polandov J.H., Dr.Sci.Tech., Babankov V.A.</i> Features of explosion gas-air mixture in the closed cylindrical chambers.....	14
<i>Kutsenko S.A., Vinokurov A.Yu., Sedov Yu.A.</i> Optimization of technological parameters of the cationic starch production.....	20
<i>Buketov A.V., Shorkin V.S.</i> Definition and change mechanical characteristic composite material.....	25

Process modeling

<i>Guchshina T.V.</i> Control over quality and safety production farm agribusiness products.....	27
<i>Kirillov O.N.</i> The modeling of the process of non-profile non-solid tool electrode's interaction with the object of treatment.....	31
<i>Kirichek A.V., Selemenev M.F., Selemenev K.F., Schumann E.V., Osipova A.F.</i> Simulation of technological processes cutting and rolling thread in sae-systems (DEFORM-3D).....	35

Construction, calculation, material

<i>Ageev A.V., Semenikhin V.A., Latypov R.A.</i> Method of reception nanostructural of powders on the basis of system we-co and the device for his realization.....	39
<i>Berdishevsky E.G.</i> Friction modifiers as a basic of lubricant compositions for metal working.....	43
<i>Lukin E.S., Ivanov A.M.</i> Durability and dissipation energy at plastic deformation of constructional steel.....	47
<i>Tyrs V.R., Kosarevskiy S.V.</i> The approach to the problem of storage and ordering plans of the control on modern coordinate-measuring machine.....	52
<i>Rybak L.A., Gaponenko E.V., Cherkashin N.N.</i> Synthesis of neural networks-based algorithm for motion control of the parallel robotics machine tool.....	55

Machine building technology and toolware

<i>Erenkov O.JU., Gavrilova A.V., Kalita E.G., Kartelev D.V.</i> Research the chip formation process at turning of thermo-softening polymeric materials.....	60
<i>Deaconov A.A.</i> Tasks and features multicriteria of three-dimensional model of thermophysics of processes of abrasive processing.....	65
<i>Ledkov E.A., Khimuhin S.N., Davydov V.M.</i> Influence of ultrasonic processing on a microrelief and properties of the coverings received by a method electrosark alloy.....	72
<i>Smolentsev E.V.</i> Finishing of tooth gear active faces by a combined method.....	79

Machine, apparatus, technology light and food industry

<i>Gatilova Y.V., Ivakhnenko A.G.</i> Vodka quality control in a stage of bottling.....	83
<i>Pavlovskaya A.A., Kvaskova T.V., Mahkei G.V.</i> Scientific and technical methods to the development of special clothing for work with pesticide.....	91
<i>Prokopova E.V., Moskina E.L.</i> Not radical composite changes - as a way of expansion of assortment of garments	95
<i>Rodicheva M.V., Abramov A.V., Rodicheva P.A.</i> Improvement of ergonomic properties of special clothes by creation of ventilated air layers.....	98

Innovation and frame in machine building

<i>Moskina N.E.</i> To system test exhibiting of an estimation qualities professional competence graduates machine-building structure.....	102
<i>Morozova A.V.</i> Application qualitymeasure of methods in the estimation of the expert of the technical structure.....	105

Instrument making and biotechnological system

<i>Khorolskiy V.Y., Bondar M.S., Yefanov A.V.</i> Applying of newton method in task of improving of methodological reliability of digital electromeasuring devices.....	111
---	-----

Tests, control, diagnostics and quality control

<i>Gavrilina V.A.</i> Application of spectral relations for the qualitative analysis of wine by high-performance liquid chromatography with multiwavelength spectrophotometric detection.....	115
<i>Kosmodamianskiy A.S.</i> Development block direction automatic system comb oiling support wheel couple locomotive.....	122
<i>Pakholkina E.V.</i> Experimental researches of oiliness of engine oils by the electric method.....	125

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 539.3

В.А. ГОРДОН, В.И. БРУСОВА, Э.А. КРАВЦОВА, Т.В. ПОТУРАЕВА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ИХ СТРУКТУРЫ

Представлен обзор ряда математических моделей динамических процессов, возникающих в нагруженных стержнях при внезапных структурных перестройках типа выключения опорных связей, расслоений, обрывов арматуры, частичного разрушения, трещинообразования, и методов их исследования.

Ключевые слова: *расслоение, трещинообразование, структурные перестройки, частоты и формы собственных колебаний, обрывы арматуры, выключение опорных связей.*

The review of some mathematical models of dynamic processes occurring in the loaded rod at sudden structural reconstructions as the disconnection of basic communications, stratifications, breakages of armature, partial destruction, cracking, and the methods of their study.

Key words: *exfoliation, fracturing, basic adjustment, frequencies and forms self-oscillation, break accessories, shutdown supporting relations.*

Одной из важнейших задач современной строительной механики является анализ чувствительности эксплуатируемых и проектируемых конструкций к различным изменениям в их проектах, несовершенствам в изготовлении, вариациям внешних воздействий, структурным перестройкам под нагрузкой и другим факторам. В последние годы в ряд важнейших выдвигается проблема обеспечения надежности, безопасности и живучести проектируемых, эксплуатируемых и реконструируемых строительных конструкций и сооружений. Это связано, прежде всего, со значительным износом основных фондов, с ростом различного рода агрессивных воздействий техно- и антропогенного происхождения, включая террористические действия, с непродуманными и некачественно выполненными реконструкционными мероприятиями. Анализ зарубежной и отечественной технической литературы показывает, что имеющиеся постановки и методы решения задач прочности и живучести, которые учитывали бы внезапные изменения конструктивной и расчетной схем сооружений и их элементов, пока малочисленны и несовершенны. Это обуславливает необходимость разработки методов, аналитических и численных, которые, учитывая внезапные изменения расчетной схемы конструкции, описывали бы специфику и характеристики динамических процессов, инициируемых этими изменениями, перераспределение внутренних усилий и деформаций в ходе и результате процессов, связывали бы уровни динамических приращений напряжений и деформаций с уровнями конкретных запроектных воздействий.

В настоящей статье приводится краткий обзор результатов, полученных в Орловском государственном техническом университете в работах, посвященных развитию теории и методов расчета прочности и живучести строительных конструкций. Результаты проделанных исследований могут служить основанием как для выработки конкретных конструктивно-технологических решений, так и при формулировке общих рекомендаций по вопросам проектирования конструкций, при разработке норм и стандартов на проектирование, возведение, эксплуатацию и реконструкцию сооружений.

В работе представлены математические модели динамических процессов, возникающих в нагруженных стержнях и пластинах при внезапных изменениях их структуры и метод их исследования. Математическими моделями изучаемых объектов являются дифференциальные уравнения различных порядков с постоянными и переменными коэффициентами с определенными граничными и начальными условиями. Комплексный метод формирования аналитических оценок напряженно-деформированного состояния нагруженных балок, прямоугольных и круглых пластин, моделирующих элементы строительных конструкций,

включает: расчет исходного статического состояния для формирования начальных условий динамического процесса; расчет частот и форм (мод) собственных колебаний видоизмененной конструкции; расчет вынужденных движений методом модального разложения исходного состояния по модам нового состояния.

Приведем краткое описание поставленных и в определенной степени решенных задач.

1. Решены задачи [1, 2, 8, 17] о напряженно-деформированном состоянии стержней при внезапном выключении части опорных связей, показан возможный механизм лавинообразного развития повреждений, приводящих к потере несущей способности либо разрушению. На примере однопролетной однородной балки с двумя защемленными концами и равномерно распределенной нагрузкой исследуется процесс внезапного преобразования ее в балку, шарнирно-опертую по концам. При этом процесс перехода имеет промежуточное состояние: сначала выключается связь в одной опоре, что приводит к выключению связи в другой опоре. В результате последовательности преобразований граничных условий изменяются локализация и величина наибольшего напряжения. При полной ликвидации одной опоры в балке с защемленными концами отношение максимальных динамического и статического напряжений будет в 4 раза больше, чем при внезапном отключении одной связи, ограничивающей поворот в заделке. Показано, что максимальные напряжения в период переходного процесса после внезапных выключений опорных связей могут превышать на порядок соответствующие напряжения при таком же, но квазистатическом преобразовании.

2. Для балок с изменяющейся вдоль оси изгибной жесткостью (например, за счет переменности осевого момента инерции сечения) исследуется [3, 6, 8] влияние клиновидности (конусности) на соотношения динамических и статических напряжений при внезапных изменениях условий опирания. Во всех случаях внезапного структурного изменения максимальные напряжения резко возрастают. Чувствительность к подобным изменениям определенным образом зависит и от формы поперечного сечения. Исследованы переходные процессы при внезапных выключениях связей для балок с квадратным, прямоугольным, треугольным и круглым сечениями. Например, в балке с квадратным и круглым поперечным сечением скачок динамических напряжений в случае ликвидации большей (меньшей) по площади заделки на 25% (7,2%) меньше, чем соответствующий скачок в балке с прямоугольным или треугольным сечениями при одинаковых во всех случаях площадях сечений.

3. Исследована [4, 5, 8, 9] задача деформаций однопролетной балки с защемленным и шарнирно-опертым концами, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой при внезапном удалении шарнирной опоры. Задача решена с учетом рассеяния энергии при возникающих колебаниях. В этом случае внезапное превращение двухопорной балки в консольную приводит к 8-кратному превышению максимальных напряжений по сравнению с аналогичным квазистатическим преобразованием. Увеличение параметров, характеризующих рассеяние энергии (коэффициентов внешнего и внутреннего трения) снижает уровень максимальных напряжений и прогибов. Аналогично решается задача для балки с двумя заделанными концами, в которой внезапно ликвидируется одна из заделок. Отмечается, что соотношение динамических и статических напряжений существенно зависит от количества исчезающих связей. Так, в задаче о внезапном переходе балки от двух защемлений к консоли это соотношение на 45% больше, чем для балки, в расчетной схеме которой первоначально были защемленный и шарнирно-опертый концы.

4. Аналогичный подход применен [7, 8, 11] для решения задачи о перераспределении напряжений в армированных стержнях при внезапном обрыве арматуры или при разрушении матрицы. В постановке, аналогичной предыдущим задачам, исследуется переходный процесс в модели растянутого продольной силой армированного стержня при внезапном обрыве арматуры или при внезапном разрушении матрицы. Предполагается, что вид напряженного состояния стержня при аварии не изменяется (армирующий элемент расположен строго по оси стержня). В результате аварии возникают кратковременные затухающие продольные колебания, в ходе которых напряжения в матрице увеличиваются в 2,3 раза (при обрыве арматуры), а в арматуре – в 23 раза (при разрушении матрицы). Результаты получены для армированного стержня, в котором арматура составляет 1% от площади поперечного сечения, а модуль упругости материала арматуры в 10 раз превышает модуль материала матрицы. Механизм

возникновения колебаний при аварии объясняется следующим образом: в результате разрушения одного из компонентов растягивающая сила, статически приложенная к нему, ударным образом переходит на остающийся материал.

5. В задачах [8-10, 15] о внезапном нарушении связей между продольными слоями стержня (прямоугольной пластины) – расслоении – показано существенное возрастание максимальных напряжений и деформаций в пакете по сравнению с монолитным объектом. Предложенный подход позволяет решать задачи о внезапных перестройках для составных (по А.Р. Ржаницыну) стержней и пластин. Рассмотрены консольный стержень, нагруженный на свободном конце сосредоточенной силой и трехопорная неразрезная балка, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Предполагается, что 2 части стержня (верхняя и нижняя) жестко соединены (склеены, сварены, на заклепках и т.п.). Рассчитывается напряженно-деформированное состояние одной части от действия внешней нагрузки и от касательных сил, действующих со стороны другой части и распределенных по поверхности раздела. Внезапное разделение стержня на 2 части означает внезапное снятие нагрузок, передающихся от одной части к другой. Это приводит к затухающим динамическим процессам в обеих частях: продольным и изгибным колебаниям. Для формулировки начальных условий переходного процесса предварительно решены статические задачи от действия всех приложенных и развивающихся сил. Продольные колебания, вызванные внезапным исчезновением внутренней продольной силы, во внимание не принимаются в силу их малости. Показано, что максимальные прогибы стержня, состоящего из двух невзаимодействующих частей, в 4 раза превышают прогибы стержня с жестко соединенными частями. Процесс затухает к статическому состоянию, характерному для стержня, расслоившегося квазистатически. После прекращения колебаний максимальное нормальное напряжение в заделке превышает статическое напряжение в неповрежденном стержне в 2 раза, что и следовало ожидать. Разработанный метод позволяет обобщить подход на стержни, расслоившиеся на произвольное число слоев.

6. На примере двухопорной шарнирно-опертой по концам балки прямоугольного поперечного сечения, нагруженной по концам сосредоточенными моментами, решена [11, 12, 14, 16] задача оценки напряженно-деформированного состояния, возникшего в результате внезапного отделения от балки слоя определенной толщины, что означает мгновенное изменение площади поперечного сечения и его момента инерции. В результате отделения слоя в балке возникает переходный динамический процесс, в ходе которого максимальное напряжение в некоторый момент превысит напряжение, развивающееся при квазистатическом отделении слоя. Расчет параметров этого процесса производился в идеальном случае, т.е. без учета затухания возникших упругих колебаний. Это допустимо для задачи оценки степени возрастания напряжений, когда требуется определить значение первого максимума напряжений. Эффект внезапного отделения слоя количественно характеризуется двумя коэффициентами: отношением максимального динамического напряжения к максимальному напряжению, развивающемуся при квазистатическом переходе целой балки к поврежденной, и отношением, показывающим во сколько раз максимальное напряжение в динамическом процессе после отделения слоя превосходит максимальное напряжение в исходном статическом (рабочем) состоянии. Получены зависимости этих коэффициентов от параметра, характеризующего степень повреждения балки (толщины отделившегося слоя). На этом примере показано значительное превышение напряжений в статически нагруженной конструкции при внезапном изменении некоторых ее геометрических характеристик

7. В работах [12, 13] предложен новый алгоритм аналитического интегрирования дифференциальных уравнений в полярных координатах с произвольными переменными коэффициентами, аналогичный применяемому алгоритму [23] для уравнений, записанных в декартовых координатах. С его помощью анализируется динамический процесс, возбуждаемый в круглой пластинке переменной вдоль радиуса толщины с центральным жестким включением при внезапном преобразовании заземления внутреннего контура в свободное опирание. Приближенные решения уравнения собственных осесимметричных колебаний круглой пластинки в полярных координатах строятся с помощью дифференциального уравнения, имеющего точные решения и отличающегося от исходного наличием известной дополнительной функции, описывающей переменную жесткость пластинки. Получены зависи-

мости динамических догрузений, связанные с внезапным преобразованием граничных условий и оценки влияния изменения жесткости пластинки вдоль радиуса и размеров центрального включения на напряженно-деформированное состояние. Показано, что наибольшие радиальные и тангенциальные напряжения в ходе динамического процесса резко возрастают и превышают на порядок соответствующие статические напряжения.

8. Работы [9, 18-19] посвящены решению задачи по определению динамических догрузений в элементах пространственной рамно-стержневой статически неопределимой системы, моделирующей фрагмент пространственного каркаса многоэтажного здания с внезапно выключающейся центральной стойкой (рисунок 1–2).

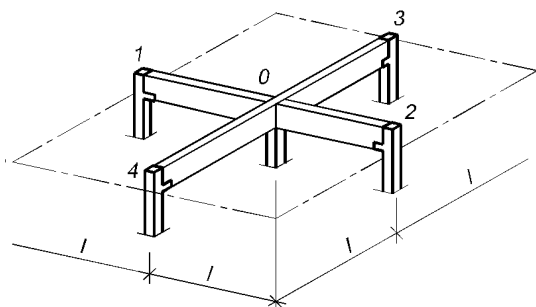


Рисунок 1 – Конструктивная схема фрагмента пространственной системы

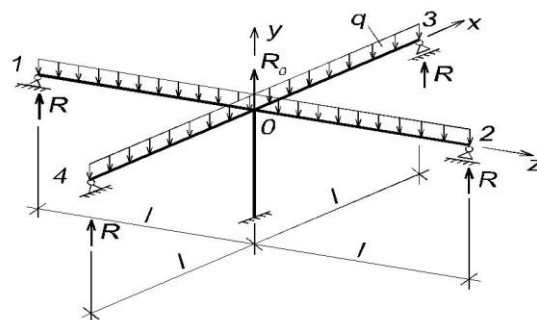


Рисунок 2 – Расчетная схема фрагмента пространственной системы

Для двух вариантов опирания перекрещивающихся балок на периферийные колонны-стойки – шарнирного и жесткого защемления – получены безразмерные коэффициенты, характеризующие превышение деформаций и напряжений в элементах конструкции после рассмотренного внезапного изменения условий опирания по отношению к соответствующим параметрам в статическом состоянии или при эволюционном отключении центральной стойки. Показано, что внезапное удаление опоры приводит к значительным динамическим догрузениям, превышающим приращение напряжений в случае эволюционного медленного удаления опоры в 1,5-2 раза, что доказывает необходимость учета последствий такого повреждения конструкции при проектировании и эксплуатации сооружения, содержащего указанный фрагмент.

9. В работе [9, 20-22] методика анализа динамических явлений в конструкциях при внезапных перестройках распространена на исследование процессов в нагруженных упругих балках при внезапном трещинообразовании. Рассматривается балка прямоугольного поперечного сечения, свободно опертая по концам, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Предполагается, что в определенный момент в произвольном сечении балки мгновенно образуется открытая вертикальная трещина. Физической моделью балки с трещиной, испытывающей изгибные колебания, вызванные внезапным образованием трещины, считается конструкция, состоящая из двух балочных сегментов, соединенных пружиной кручения, расположенной в сечении с трещиной. В принятой математической модели динамики стержня с трещиной содержатся два параметра, характеризующие дефект (трещину): безразмерная

гибкость балки в сечении с трещиной $\theta = J(\gamma) \frac{h}{l}$ и местоположение трещины. Здесь h и l соответственно высота сечения и длина балки, $J(\gamma)$ – функция относительной глубины $\gamma = \frac{a}{h}$ трещины вида [24]:

$$J(\gamma) = 1,86\gamma^2 - 3,95\gamma^3 + 16,37\gamma^4 - 37,23\gamma^5 + 76,81\gamma^6.$$

На рисунке 3 (а, б) приведены графики зависимости первой и второй собственных частот шарнирно опертой балки от относительной глубины трещины γ и положения трещины по длине l_1 .

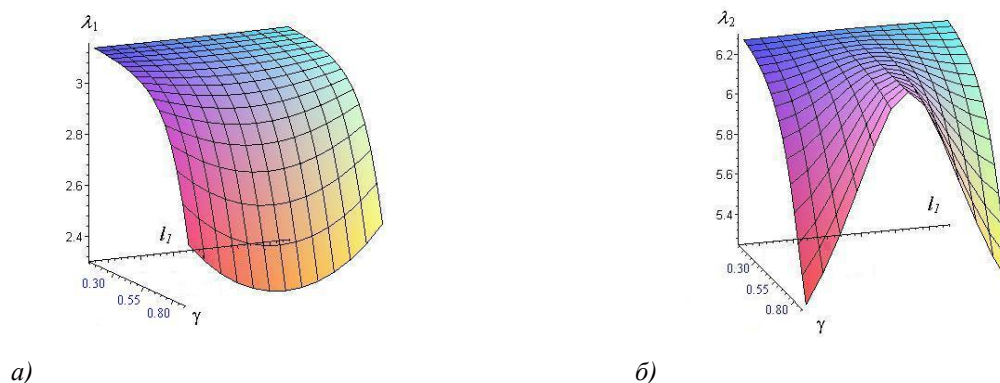


Рисунок 3 – Зависимость основной λ_1 (а) и второй λ_2 (б) собственных частот балки с трещиной от глубины и положения трещины

Эффект внезапного образования трещины заданной глубины и локализации оценивается безразмерными коэффициентами, показывающими относительное приращение деформаций и напряжений к статическим и квазистатическим значениям. Показано, что внезапное образование трещины значительно изменяет спектр частот при различных условиях опирания балок, приводит к перераспределению опасных сечений и значительным приращениям прогибов и напряжений дополнительно к рабочим значениям. Учитывая большое значение, которое имеют частоты собственных колебаний при ее модальном анализе, применяемом в работе, были проделаны натурный и численный эксперименты по определению первых двух собственных частот консольной балки с трещиной. Экспериментальные и вычисленные по программе ANSYS частоты удовлетворительно близки к теоретическим, что подтвердило работоспособность предложенной модели описания динамики балки с внезапно образующейся трещиной.

Рассмотренные задачи объединяет единый метод решения дифференциальных уравнений, описывающих динамические процессы в упругих телах, развивающиеся при импульсных изменениях нагрузок, условий опирания, размеров и других структурных перестройках конструкций. Решения строятся методом Фурье разделения переменных, разложением динамических перемещений по формам собственных колебаний с применением интеграла Дюамеля.

Информация, полученная при решении указанных модельных задач, является весьма важной и позволяет более обоснованно подходить к решению задач оптимизации, обеспечения надежности работы конструкции и ее живучести.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордон, В.А. Динамические явления в балке при внезапном выключении связей в опорах / В.А. Гордон, Т.А. Павлова // Механика неоднородных деформируемых тел: методы, модели, решения: материалы II международной НТК. – Севастополь: Изд-во ОрелГТУ, 2005. – С. 31-39.
2. Гордон, В.А. Динамические явления в балке при лавинообразном процессе внезапного выключения связей в опорах / В.А. Гордон, Т.А. Павлова // Вибрационные машины и технологии: в 2 ч., Ч. 1: сб. науч. тр. – Курск: Изд-во КурГТУ, 2005. – С. 166-169.
3. Гордон, В.А. Напряженно-деформированное состояние в клиновидной балке при внезапной ликвидации опоры / В.А. Гордон, Т.А. Павлова // Материалы III междунар. научн. симп. «Ударно-вибрационные системы, машины и технологии». – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2006. – С. 95-98.
4. Гордон, В.А. Динамические явления в балке при внезапном изменении условий опирания с учетом коэффициента трения / В.А. Гордон, Т.А. Павлова // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – №1-2 (5-6). – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2005. – С. 13-19.
5. Потураева, Т.В. Переходный динамический процесс в стержневой конструкции при внезапном изменении условий опирания / Т.В. Потураева // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – Орел: ОрелГТУ, 2008. – №4. – С. 27-31.
6. Павлова, Т.А. Сравнение динамических явлений в балке при внезапных изменениях условий опирания / Т.А. Павлова // Вибрационные машины и технологии: в 2 ч. Ч. 2: сб. науч. тр. – Курск: Изд-во КурГТУ, 2005. – С. 94-99.
7. Павлова, Т.А. Динамические явления в армированной балке при внезапном разрушении одного из материалов / Т.А. Павлова // Вестник БГТУ им. Шухова: материалы НТК «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии». – Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. – №10. – С. 418-421.

8. Павлова, Т.А. Развитие метода расчета строительных конструкций на живучесть при внезапных структурных изменениях: дисс. ... канд. техн. наук 05.23.17 / Т.А. Павлова. – Орел: ОрелГТУ, 2006. – 175 с.
9. Потураева, Т.В. Переходные процессы в балках при внезапных структурных перестройках и трещинообразовании: дисс. ... канд. техн. наук 05.23.17 / Т.В. Потураева. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 145 с.
10. Гордон, В.А. Динамические процессы в составной пластине при внезапном продольном расслоении / В.А. Гордон, Т.А. Павлова // Известия ТулГУ. Серия «Строительные материалы, конструкции и сооружения». – Вып. 9. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – С. 40-49.
11. Гордон, В.А. Напряженно-деформированное состояние нагруженной балки при внезапном уменьшении площади поперечного сечения / В.А. Гордон, В.И. Брусова, А.А. Волчков // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – Орел: ОрелГТУ, 2006. – №3-4. – С. 20-27.
12. Брусова, В.И. Переходные процессы в круглых пластинках и балках при некоторых внезапных за- проектных воздействиях: дисс. ... канд. техн. наук 05.23.17 / В.И. Брусова. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 150 с.
13. Гордон, В.А. Осесимметричные колебания круглой пластинки при внезапном изменении условий опирания / В.А. Гордон, В.И. Брусова // Оценка риска и безопасность в строительстве. Материалы междуна- родного конгресса «Наука и инновации в строительстве. Материалы междуна- родного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB – 2008». – Т.3. – Воронеж: ВГАСУ, 2008. – С. 105-110.
14. Брусова, В.И. Переходный процесс в нагруженной балке при отсоединении части продольного слоя / В.И. Брусова, В.А. Гордон // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – №4/24(572). – С. 8-10.
15. Потураева, Т.В. Динамические догружения стержневой конструкции в результате внезапного рас- слоения ее элементов / Т.В. Потураева, В.А. Гордон // Материалы междуна- родного научн. конф. «Современные проблемы математики, механики, информатики». – Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – С. 259-260.
16. Гордон, В.А. Осесимметричные колебания кольцевой пластинки при внезапном изменении условий опирания / В.А. Гордон, Н.В. Клюева, В.И. Брусова // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2009. – №1. – С. 41-43.
17. Gordon, V. Transitional processes in the constructions with the sudden structural reconstructions / V. Gor- don, Y. Stepanov, P. Anokhin // Proc. XV Intern. Congress on Sound and Vibration. – Daejeon, Korea, 2008.
18. Клюева, Н.В. Расчет динамических догружений в стержневой пространственной системе с внезапно выключающимися элементами / Н.В. Клюева, В.А. Гордон // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – М.: РУДН, 2008. – №4. – С. 72-79.
19. Потураева, Т.В. Расчет динамических усилий в конструктивно-нелинейных элементах стержневых систем при внезапных структурных изменениях / В.А. Гордон, Н.В. Клюева, Т.В. Потураева, Бухтиярова А.С. // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: Строительство, 2008. – №6. – С. 26-30.
20. Потураева, Т.В. Динамическое догружение свободно опертой нагруженной балки, инициированное внезапным образованием трещины / Т.В. Потураева, В.А. Гордон // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – №4/24(572). – С. 28-33.
21. Гордон, В.А. Частоты собственных изгибных колебаний свободно опертой балки с трещиной / В.А. Гордон, Т.В. Потураева // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2009. – №3(224). – С. 19-23.
22. Савостикова, Т.В. Оценка влияния внезапного образования трещины на напряжения в растянутом стержне / В.А. Гордон, Т.В. Савостикова // Изв. ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы в технике и технологии». – Орел: ОрелГТУ, 2008. – №3-2/271(546). – С. 43-49.
23. Гордон, В.А. Метод решения задач механики неоднородных тел / В.А. Гордон, В.С. Шоркин, М.И. Борзенков. – Орел: ОрелГТУ, 2005. – 161 с.
24. Hai-Ping Lin Dynamic design of beams using crack tuning / Lin Hai-Ping // Proc. XV Intern. congress on Sound and Vibration. Daejeon, Korea, 2008. – PP. 215-222.

Гордон Владимир Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика»,
 Тел.: +7(4862) 41-98-48
 E-mail: gordon@ostu.ru

Брусова Вера Ивановна

Орловский государственный технический университет, Ливенский филиал ГОУ ВПО «Орел ГТУ»
 Кандидат технических наук, заведующая кафедрой «Естественнонаучных дисциплин»
 Тел.: +7 (48677) 3-31-97
 E-mail: gordon@ostu.ru

Кравцова Эльвира Александровна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Старший преподаватель кафедры «Информационные системы»
 Тел.: +7 (4862) 76-19-10
 E-mail: elvira_kravtsova@mail.ru

Потураева Татьяна Вячеславовна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Высшая математика»
 Тел.: +7(4862) 41-98-48
 E-mail: tanpo77@mail.ru

УДК 621.66-762

Э.Г. КУЗНЕЦОВ, Л.А. САВИН

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРЦЕВОГО ЗАТВОРНОГО ИМПУЛЬСНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Приведено описание созданного экспериментального стенда и методики для испытаний нового газозатворного импульсного уплотнения. Сделан анализ экспериментально полученных расходных характеристик рассматриваемого объекта. Даны рекомендации по расчету и проектированию. Определено дальнейшее направление исследований этого вида уплотнений.

Ключевые слова: газозатворное уплотнение, торцевой зазор, расходная характеристика, математическая модель, проектирование, экспериментальный стенд.

For the testing of new barrier gas pulse seal the experimental bench was created and methods were developed. The analysis of flow rate characteristics was conducted. The recommendations as to the calculations and designing and definition of the further direction of the investigation of this barrier gas pulse seal was given.

Key words: gas bolt seal, faec gap, flow characteristics, mathematical model, development, experimental facility.

Обеспечение надежности и герметичности роторных машин является одной из важнейших задач современного машиностроения, особенно в связи с возросшими требованиями по защите окружающей среды и улучшению экологической обстановки в мире. Однако, современная технология требует одновременного увеличения давлений и подач различных жидкостей и газов, поэтому при проектировании насосных и компрессорных агрегатов возникает задача создания эффективного концевое уплотнения вала, обладающего значительной величиной ресурса. Целью данной работы являются экспериментальные исследования нового типа уплотнений – газозатворного импульсного уплотнения.

Перечисленным требованиям удовлетворяют уплотнения, сочетающие газостатические и газодинамические эффекты, создаваемые с помощью специально спроектированных камер на торцовой поверхности одного из колец. В литературе [1] описано торцовое бесконтактное уплотнение с импульсным уравниванием аксиально подвижного кольца. Во время работы этого уплотнения в торцовый зазор с помощью особых питателей подается уплотняемая среда, которая, накапливаясь в специальных камерах и дросселируясь в атмосферу, выполняет роль разделительной смазочной пленки толщиной в несколько микрон. Толщина этой пленки зависит от частоты вращения ротора и величины уплотняемого давления. При расчете уплотнения в первом приближении принимается, что на участке зазора где расположены камеры действует осредненное за период между впрысками давление. Дальнейшим усовершенствованием импульсного уплотнения явилось создание газозатворного импульсного торцового уплотнения (ГЗИТУ), в котором питатели выполнены такими, что в камеры подводится не уплотняемая среда, а специально подобранный буферный (затворный) газ от внешнего источника (рисунок 1).

Этот газ подается под давлением большим, чем давление уплотняемой среды. В результате этого в торцовом зазоре происходит дросселирование буферного газа от камер в сторону уплотняемой полости и в сторону атмосферы. Естественно, свойства буферного газа выбираются такими, чтобы ущерб от его утечки в атмосферу и в уплотняемую полость был минимальным. Таким образом, во время работы уплотнения его торцовые поверхности разделены тонкой пленкой буферного газа. Кроме отсечения утечки уплотняемой среды в атмосферу буферный газ способствует охлаждению торцовых поверхностей и промывке торцового зазора, что позволяет значительно расширить область применения этих уплотнений.

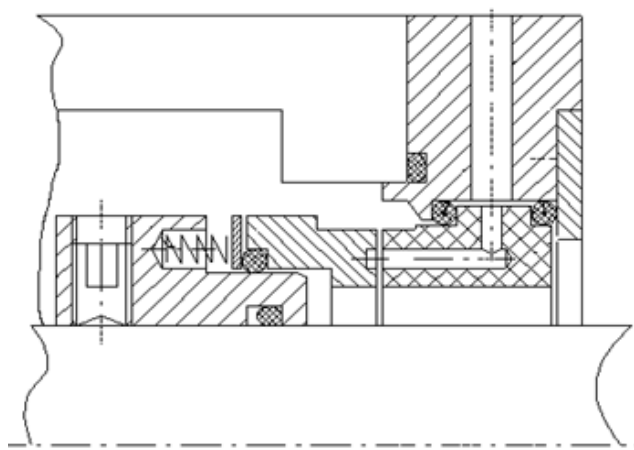


Рисунок 1 – Газозатворное торцовое импульсное уплотнение

В связи с открывающимися перспективами применения нового уплотнения была поставлена задача детального исследования процессов, происходящих в торцовом зазоре работающего уплотнения. Для этой цели авторами создан уникальный экспериментальный стенд, позволяющий испытывать экспериментальную конструкцию ГЗИТУ в широком диапазоне давлений и частот вращения ротора (рисунок 2). Он состоит из испытательной камеры, системы подготовки газа и привода.

Асинхронный электродвигатель 1, скорость вращения которого может быть задана с помощью тиристорного преобразователя частоты, передает крутящий момент через втулочно-пальцевую муфту на подшипниковую консоль 2. Отцентрированный в подшипниковых опорах вал приводит во вращение испытуемое уплотнение, которое размещается в испытательной камере стенда 3. Требуемые условия работы уплотнения обеспечиваются системой подготовки газа. Для ее функционирования используется сжатый предварительно компрессором воздух из баллона 15. Отстоявшийся, свободный от взвешенных частиц воздух из баллона через вентиль 14 поступает к двум газовым редукторам (регуляторами давления) 9 и 10. Давление газа перед редукторами контролируется с помощью манометра 12. Редукторами 9 и 10 задаются давления, имитирующие затворное и уплотняемое давление работающего насоса (компрессора) соответственно. После редуктора 9 воздух под требуемым давлением, которое контролируется с помощью манометра 8, через вентиль 7, фильтр тонкой очистки 6 и ротаметр 5 поступает в торцовую пару испытуемого уплотнения. Воздух из редуктора 10 под давлением, контролируемым с помощью манометра 11, через вентиль 13 поступает в корпус испытательной камеры.

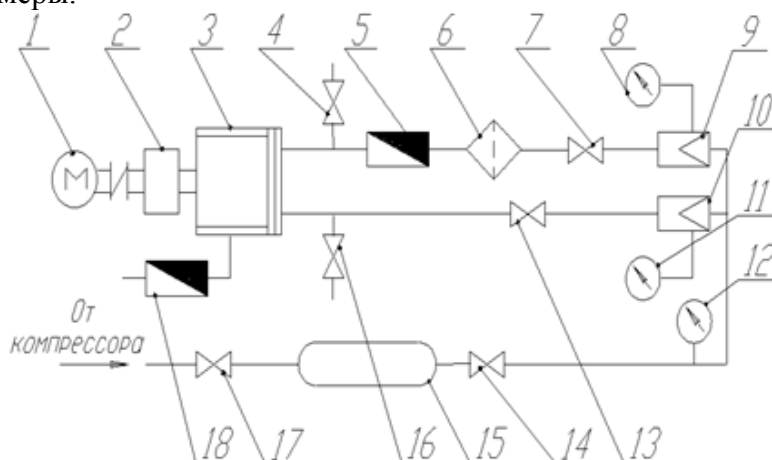


Рисунок 2 – Экспериментальный стенд

На обеих линиях подачи затворной и уплотняемой сред расположены вентили 4 и 16 соответственно, которые служат для аварийного сброса давления в камере 3 и отвода давления со стенда после окончания испытаний для безопасной разборки камеры. Расход подво-

димой затворной среды измеряется с помощью ротаметра 5. Суммарный расход утечек уплотняемой и затворной сред в случае одинаковых физических свойств последних измеряется ротаметром 18.

С помощью описанного стендового оборудования проведен ряд испытаний, включающих измерение расходных характеристик, измерение давления затворной среды в камере и в торцовом зазоре работающего ГЗИТУ при разных величинах затворного и уплотняемого давлений и частот вращения ротора, как для уплотнения воды, так и для уплотнения газа. В статье дан анализ результатов обработки экспериментальных данных, полученных при снятии расходных характеристик уплотнения. С целью получения более полной картины о работе ГЗИТУ на одной и той же конструкции уплотнения испытывались торцовые пары с разным количеством камер и питателей. Во время проведения испытаний с помощью преобразователя частоты производилось изменение скорости вращения приводного вала стенда от 1000 до 3000 об/мин. Давление в корпусе стенда, имитирующее уплотняемое давление, задавалось в пределах от 0,05 до 0,55 МПа, а давление буферного (затворного) газа – от 0,1 до 0,6 МПа. В качестве расходной характеристики определялся расход затворного газа через питатели.

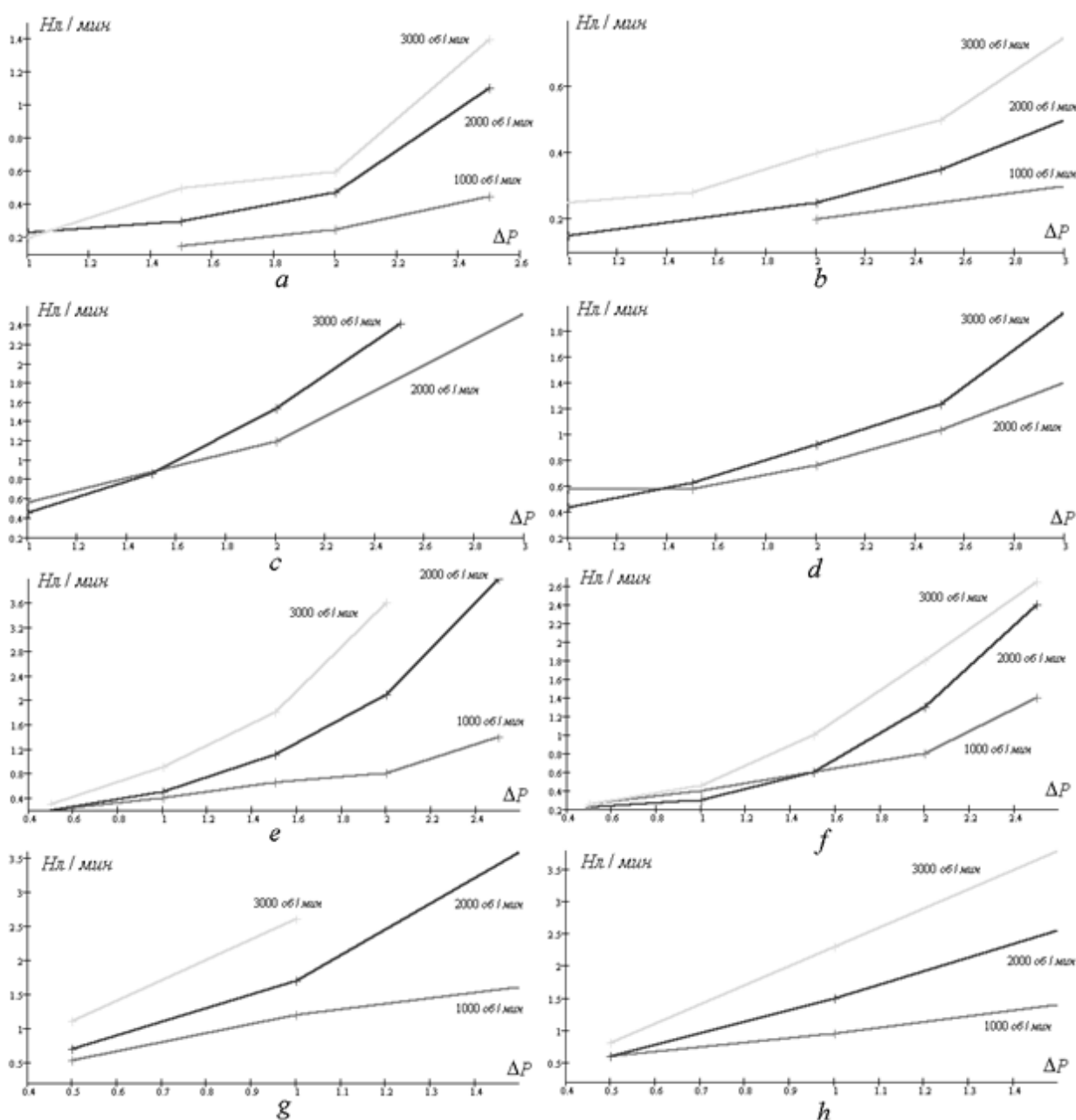


Рисунок 3 – Расходные характеристики ГЗИТУ

На основе полученных экспериментальных данных построены зависимости расхода буферного газа от разницы (перепада) между уровнями давления уплотняемой и затворной сред (рисунок 3). Графики *a, c, e* и *g* соответствуют уплотняемому давлению 0,2 Мпа, а графики *b, d, f* и *h* – давлению 0,3 Мпа, кроме того графики *a* и *b* соответствуют торцовой паре с 6 камерами и 4 питателями, графики *c* и *d* – паре с 12 камерами и 3 питателями, графики *e* и *f* – паре с 12 камерами и 4 питателями и графики *g* и *h* – паре с 24 камерами и 4 питателями. Из рисунка следует, что, как и в традиционных импульсных уплотнениях, увеличение частоты вращения ротора сопровождается увеличением торцового зазора, что в свою очередь приводит к увеличению расхода затворного воздуха. Также на величине торцового зазора сказывается уровень уплотняемого давления: при неизменном давлении затворной среды увеличение уплотняемого давления приводит к уменьшению торцового зазора, что сопровождается уменьшением расхода затворного воздуха.

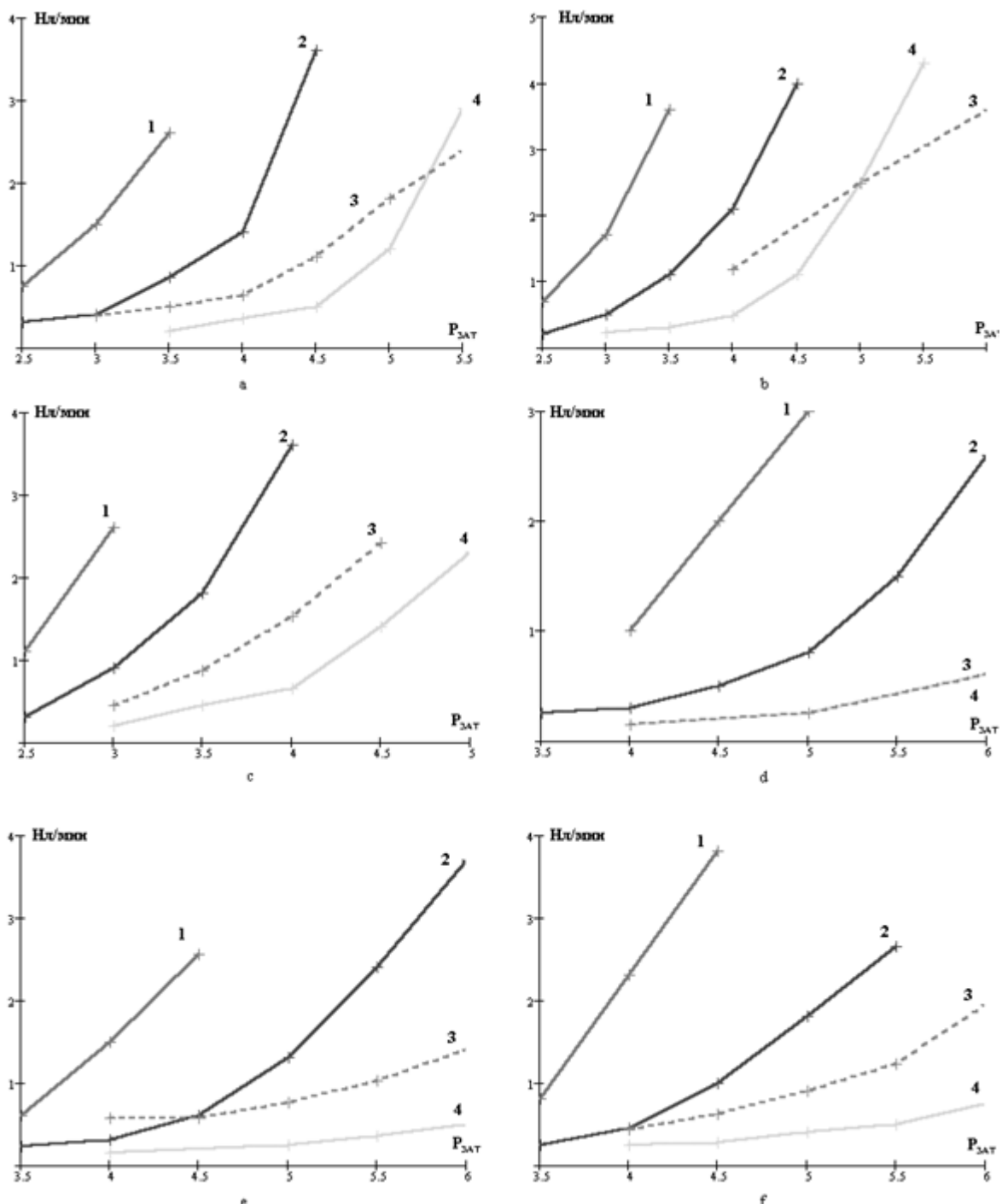


Рисунок 4 – Интегральные расходные характеристики ГЗИУ

Благодаря импульсному уравниванию колец, эта конструкция уплотнения имеет более пологую характеристику, чем использовавшиеся ранее гидростатические уплотнения с подводом буферной среды от внешнего источника: достаточно большому изменению давления затворной (буферной) среды соответствует сравнительно небольшое изменение ее расхода.

Для исследования характера влияния количества камер и питателей на работу уплотнения в эксперименте использовались торцовые кольца с 6, 12 и 24 камерами и 3 и 4 питателями. По результатам экспериментов построены интегральные расходные характеристики (рисунок 4). На графиках изображены кривые расходов для давлений уплотняемой среды 0,2 МПа (графики *a – c*) и 0,3 МПа (графики *d – f*) и частот вращения ротора 1500 об/мин (графики *a* и *d*), 2000 об/мин (графики *b* и *e*) и 3000 об/мин (графики *c* и *f*). Цифрой 1 обозначены кривые, соответствующие торцовой паре с 24 камерами и 4 питателями, цифрой 2 – паре с 12 камерами и 4 питателями, цифрой 3 – паре с 12 камерами и 3 питателями и цифрой 4 – паре с 6 камерами и 3 питателями. Характер изменения кривых показывает, что путем уменьшения количества камер и питателей на торцовой поверхности можно без изменения геометрии уплотнения добиться уменьшения протечек затворной среды в уплотняемую полость и атмосферу и, самое главное, ослабить зависимость величины торцового зазора от неизбежного во время промышленной эксплуатации непостоянства величины разницы между уровнями давлений уплотняемой и затворной сред.

Таким образом, из характеристик следует, что при расчете и проектировании уплотнений этого типа необходимо учитывать специфику распределения поля давлений, создаваемого конкретным количеством камер и питателей, а не принимать упрощенную схему с осредненным давлением на участке уплотнительного пояса. Дальнейшим направлением исследования импульсного затворного уплотнения является создание расчетной модели, учитывающей количество и характер выполненных на торцовых поверхностях камер и питателей, а также экспериментальное определение величины торцового зазора совместно с действующим в зазоре давлением и расходом затворной среды при различных условиях эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марцинковский, В.А. Бесконтактные уплотнения роторных машин / В.А. Марцинковский. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.

Кузнецов Эдуард Геннадьевич

Сумский государственный университет
Старший преподаватель кафедры «Информационные технологии проектирования»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-85
E-mail: ed_kuznets@mail.ru

Савин Леонид Алексеевич

Орловский государственный технический университет
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Мехатроника и международный инжиниринг»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-85
E-mail: savin@ostu.ru

Ю.Х. ПОЛАНДОВ, В.А. БАБАНКОВ

ОБ ОСОБЕННОСТИ ВЗРЫВА ГАЗО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗАКРЫТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАМЕРАХ

Компьютерным моделированием взрывов газо-воздушных смесей показано, что в закрытых выпуклых геометрически подобных камерах средняя скорость распространения пламени остаётся практически неизменной. Однако с ростом одного из характерных размеров камеры при $V=Const$ время выгорания смеси, несмотря на увеличение скорости выгорания, заметно увеличивается.

Ключевые слова: взрыв газа, закрытый объём, время выгорания, влияние формы объёма.

Computer simulations of explosions of gas-air mixtures showed that in the closed convex geometrically similar chambers average speed of propagation the flame remains virtually unchanged. However, as one of the characteristic size of the camera when $V = Const$ while burning the mixture, despite the increase in the rate of burnout, increases markedly.

Key words: gas explosion, closed volume, time burnout, influence of the volume forms.

ВВЕДЕНИЕ

В практике исследований понятие скорость распространения пламени и времени выгорания газо-воздушной смеси (ГВС) при дефлаграционном взрыве используется довольно редко; показателен в этом плане тот факт, что это понятие отсутствует в действующих нормативах. В них вынуждено рекомендуется пользоваться в расчётах так называемой нормальной скоростью горения, хотя известно, что связь между скоростью нормального горения и наблюдаемой скоростью распространения пламени в газовой среде довольно сложно выразить [1]. Это является следствием того, что скорость движения фронта пламени в газо-воздушной смеси зависит не только от теплофизических свойств компонент ГВС, но и потому что газ имеет свойство значительно расширяться и менять давление внутри себя, а также от формы и масштабов границ объёма, в который помещена ГВС [2].

Но, если обратиться к понятиям средней скорости распространения пламени за время взрыва, то можно оценить со среднеинтегральных позиций такую важную характеристику взрыва как интенсивность процесса. Понятно, что значение средней скорости движения фронта пламени находится путём несложных расчётов, исходя из геометрии объёма и времени протекания процесса. Следует отметить, что и геометрические размеры и время взрыва как факторы поддаются измерению достаточно просто и уверенно. Путём использования понятия средней скорости распространения пламени решается большой круг теоретических и прикладных задач. Одной из них является задача о влиянии геометрии камеры на среднюю скорость распространения пламени (или время выгорания смеси) при дефлаграционном взрыве в замкнутом объёме.

Исследование проведено с использованием компьютерного моделирования, в основу которого был заложен отечественный способ решения задач газовой динамики методом крупных частиц, разработанный нашим земляком академиком Белоцерковским О. М. и Давыдовым Ю.М. [3].

1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА

1.1 Исходная система уравнений и основа метода крупных частиц её решения

В этом методе, как известно, для описания динамики системы используется система уравнений Эйлера, описывающих три фундаментальных закона сохранения: массы, импульса и энергии, – в дивергентной форме (1), замыкаемая уравнением газового состояния (2). Эта система уравнений выполняется во всяком бесконечно малом газовом объёме. Ввиду того, что система уравнений векторная, то каждое из входящих в него уравнений раскладывается на три, по количеству пространственных координат. Уравнение газового состояния благодаря его скалярности остаётся без изменения. В итоге получается, что в каждом выделенном бесконечно малом объёме динамика газа описывается 9 дифференциальными в частных производных и одним алгебраическим уравнениями.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{U}) = 0; \\ \frac{\partial \rho U_x}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho U_x \vec{U}) + \frac{\partial p}{\partial x} = 0; \\ \frac{\partial \rho U_y}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho U_y \vec{U}) + \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \\ \frac{\partial \rho U_z}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho U_z \vec{U}) + \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho E \vec{U}) + \operatorname{div}(p \vec{U}) = 0; \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\begin{aligned} p &= \rho R(\gamma - 1); \\ I &= E - \frac{U^2}{2}; \\ U^2 &= U_x^2 + U_y^2 + U_z^2; \end{aligned} \quad (2)$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

\vec{U} – вектор скорости, м/с;

E – удельная полная энергия, Дж/кг;

p – давление, Па;

γ – показатель адиабаты среды;

I – удельная внутренняя энергия, Дж/кг;

U_x, U_y, U_z , – составляющие вектора скорости, соответственно, вдоль осей x, y, z , м/с.

Решение системы начинается с наложения на область решения эйлеровой (фиксированной в пространстве) расчетной сетки, состоящей из прямоугольных ячеек со сторонами $\Delta x, \Delta y, \Delta z$. Моделируемая среда заменяется системой из жидких частиц, совпадающих в данный момент времени с ячейкой эйлеровой сетки. Процесс вычислений состоит из многократного повторения шагов по времени. Расчет каждого временного шага (вычислительного цикла) в свою очередь разбивается на три этапа:

1. «эйлеров» этап, когда пренебрегается всеми эффектами, связанными с перемещением жидкости (потока массы через границы ячеек нет); здесь на фиксированной эйлеровой сетке определяются промежуточные значения искоемых параметров потока ($\tilde{U}_x, \tilde{U}_y, \tilde{U}_z, \tilde{E}$);

2. «лагранжев» этап, где вычисляется плотность потока массы при движении жидкости через границы эйлеровых ячеек;

3. заключительный этап — определяются окончательные значения параметров потока (ρ, U_x, U_y, U_z, E) на основе законов сохранения массы, импульса и энергии для каждой ячейки и всей системы в целом.

1.2⁰. Учёт процесса горения

Введен дополнительный параметр состояния ячейки расчетной сетки – массовая доля продуктов сгорания f . В соответствии с методом крупных частиц, моделируемое пространство разбивается на совокупность ячеек. Долю продуктов сгорания f для каждой ячейки можно выразить следующим отношением

$$f = \frac{m_B}{m}. \quad (3)$$

где m – общая масса смеси в ячейке, кг;

m_B – масса продуктов сгорания в ячейке, кг.

При этом расчетные ячейки можно разделить на три группы:

1. ячейки с исходной смесью, для которых выполняется условие $f < \varepsilon$, где ε – параметр точности расчетов;

2. «сгоревшие» ячейки – $f > 1 - \varepsilon$;
3. «горящие» ячейки.

Полное описание модели и используемых разностных схем представлено в [4].

1.3⁰ Первый шаг процесса моделирования горения

Моделирование процесса горения производится в три шага. На первом шаге рассматривается горение газа в ячейках. Для всех «горящих» ячеек определяется доля газа Δf , сгоревшего за время Δt , и рассчитывается выделение энергии ΔE :

$$\Delta n_B = m k_B; \quad (4)$$

$$\Delta f = \frac{\Delta n_B}{m} = k_B; \quad (5)$$

$$f_i = f + \Delta f; \quad (6)$$

$$\Delta E = \Delta n_B H; \quad (7)$$

$$E_i = E + \frac{\Delta E}{m}; \quad (8)$$

где k_B – коэффициент скорости горения смеси,

E – удельная полная энергия смеси в ячейке, Дж/кг,

ΔE – абсолютное выделение энергии, Дж,

H – теплотворная способность смеси, Дж/кг,


f_i и E_i – соответственно доля продуктов сгорания и полная удельная энергия после этапа «горения».

Коэффициент скорости горения смеси k_B предлагается определять для каждой ячейки на каждом шаге согласно выражению (9):

$$k_B = \frac{\Delta}{\Delta l} U_B; \quad (9)$$

где Δl – характерный линейный размер ячейки сетки, м,

U_B – нормальная скорость распространения пламени в неподвижной смеси, м/с.

Для пространственных ячеек регулярной сетки характерным линейным размером является длина ребра куба (). Существует несколько подходов к определению значения U_B как функции параметров смеси. В настоящей работе авторами принимается степенная зависимость нормальной скорости горения от относительного изменения температуры смеси [1]:

$$U_B = U_{BNU} \left(\frac{T}{T_{NU}} \right)^\beta; \quad (10)$$

где U_{BNU} – нормальная скорость распространения пламени в неподвижной смеси при нормальных условиях, м/с,

T и T_{NU} – текущая температура смеси и температура смеси при нормальных условиях, соответственно, К,

β – показатель степенной зависимости.

Текущая температура смеси может быть определена из уравнения состояния идеального газа (19):

$$T = \frac{P\mu}{\rho R}; \quad (11)$$

где μ – молярная масса смеси, кг/моль,

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(К*моль).

1.4⁰ *Второй и третий шаги процесса моделирования горения*

Второй шаг моделирования заключается в распространении горения на соседние ячейки. Первый и второй шаги предполагают неподвижность среды, что характерно для эйлера этапа вычислительного цикла метода крупных частиц [1].

Третий шаг заключается в учете переноса массы сгоревшего газа через границы ячеек (заключительный этап метода крупных частиц). Перенос моделируется аналогично переносу остальных параметров (\bar{U} , E). Однако в виду специфического характера параметра f применение тех же выражений для определений переносимых значений является неадекватным. В связи с этим, авторами предлагаются специальные формулы расчета переносимых значений f , основанные на его физической интерпретации.

Общие формулы переноса для параметра f :

$$f_{i+\frac{1}{2},jk} = \begin{cases} 1 & (f_{ijk} > 1 \wedge f_{i+1,jk} > 1) \\ 0 & (f_{ijk} < 0 \wedge f_{i+1,jk} < 0) \\ \frac{f_{ijk} + f_{i+1,jk}}{2} & \end{cases} \quad (12)$$

Использование формулы (12) для определения переносимых значений параметра f обеспечивает адекватность применения общей формулы переноса для данного параметра.

Выражение (12) позволяет также определить условия распространения горения на соседние ячейки (второй шаг моделирования горения). Условие «воспламенения» «негоревшей» ячейки (i, j, k) от ячейки $(i+1, j, k)$ записывается в виде (13):

$$f_{i+\frac{1}{2},jk} > \varepsilon. \quad (13)$$

2 ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАМКНУТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОБЪЁМА НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПРИ $l/d = \text{Const}$

Рассмотрен дефлаграционный взрыв стехиометрической газо-воздушной смеси в замкнутом цилиндрической камере. Такой выбор тип модели связан с тем, что в случае использования незамкнутого объёма невозможно исключение влияния потока смеси, движущегося к сбросному окну, на движение фронта пламени, что затруднит анализ результатов эксперимента. Другой особенностью такой геометрии объёма является то, что при любых реально возможных скоростях движения фронта пламени, результатом взрыва будет одно и то же давление при условии полного сгорания и отсутствии теплопередачи в стенки объёма.

Рабочая гипотеза. Ожидается, что с увеличением размеров объёма время выгорания (взрыва) будет возрастать, однако неясно, в какой зависимости.

Условия проведения эксперимента. Эксперимент был вычислительным. Исходная смесь принята стехиометрической, а свойства газов – идеальные. При эксперименте использовалась пропан-бутан-воздушная смесь газов. Геометрические размеры у исходной модели выбраны следующие: длина – 1500 мм, а диаметр – 200 (форма камеры получилась околосцилиндрической из-за совмещения ячеек в форме куба и цилиндрической поверхности). Зажигание смеси организовано в середине объёма. От опыта к опыту менялась длина объёма с сохранением отношения $l/d = 7,5 = \text{Const}$, где l – длина, а d – диаметр объёма, $l = 400, 600, 750, 1000, 1500$ и 3000 мм. Объём разделялся на ячейки размером рёбер в одних случаях $10 \times 10 \times 10$ мм, в других – $5 \times 5 \times 5$ мм.

Результаты эксперимента. На рисунке 1 приведены визуализированные результаты моделирования по одному из опытов. На рисунке чёрным цветом окрашены ячейки, расположенные во фронте горения, а остальная часть смеси имеют окраску, изменяющуюся от темно-серого до светлого в зависимости от местной температуры, при этом светлому фону соответствует более высокая температура. В результате этого тёмно-серый фон соответствует исходной газо-воздушной смеси, которая имела нормальную температуру, а продуктам сгорания – светлый.

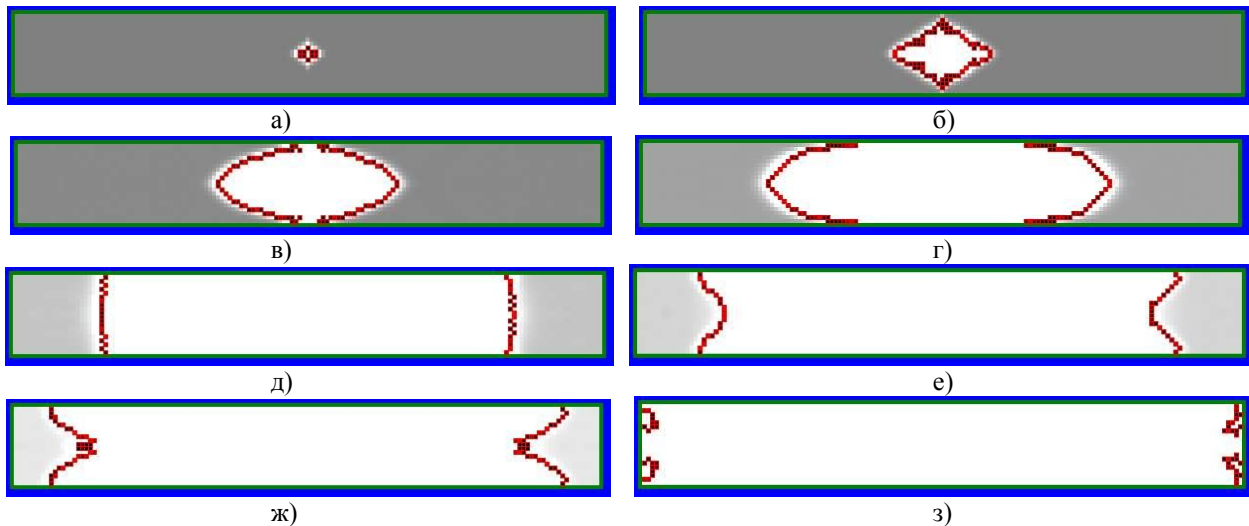


Рисунок 1 – Этапы протекания процесса выгорания смеси на эксперименте (а, б, в, г, д, е, ж, з последовательные состояния)

Видно, что на начальной стадии фронт горения имеет форму неправильного эллипсоида вращения с неравными полуосями, большая из которых направлена по оси цилиндра, а меньшая – к ближайшей границе (по радиусу). С достижением ближайшей границы – стенки – фронт горения распадается на два участка. Следует обратить внимание на эти участки ещё и потому, что по мере приближения торцу они приобретают известную форму «тюльпана», отмеченную другими исследователями [2]. dp/dt

Конечно, возможности вычислительных экспериментов шире, чем простое решение поставленной задачи. Например, таким образом можно проследить за изменением площади фронта горения по ходу взрыва (рисунок 2) и рассчитать темп прироста давления в камере (там же). Видно, что графики этих зависимостей совпадают в начале и конце, а также несколько повторяют свои формы. При обработке эксперимента время выгорания определялось по исчезновению горящих ячеек.

Результаты 1-го эксперимента. На рисунке 3 даётся зависимость продолжительность взрыва от длины цилиндрической части объёма при постоянном отношении длины к диаметру $l/d=7,5$; эксперименты были «проведены» при $l=300, 400, 500, 600, 770, 960, 1200, 1500$ и 3000 мм. Зажигание производилось по центру объёма. Видно, что продолжительность взрыва имеет близкую к ли-

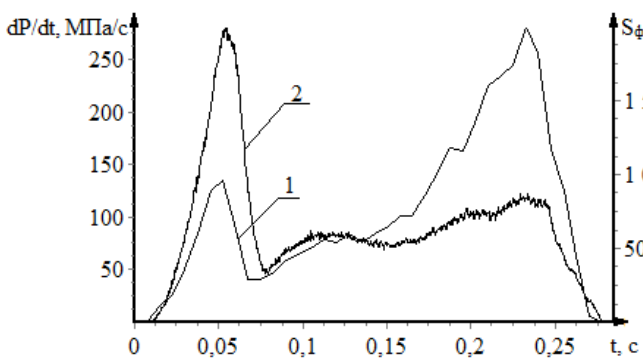


Рисунок 2 – изменение dp/dt (1) и площади фронта горения смеси (2) во время взрыва N – площадь фронта горения, p – давление в камере

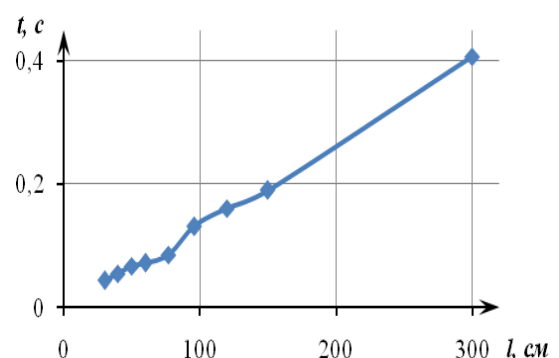


Рисунок 3 – Продолжительности взрыва в подобных камерах, $l/d=7,5=Const$

нейной зависимостью от длины ёмкость. На рисунке 4 приведены результаты пересчёта данных эксперимента применительно к средней скорости распространения пламени $\bar{v} = l_0/d$, где l_0 – наибольший характерный размер камеры (как правило, это длина камеры по оси цилиндра), d – диаметр камеры. Видно, что скорость распространения пламени в подобных объёмах практически не зависит от их размеров. Разбор данных, возможно, является следствием дефекта модели.

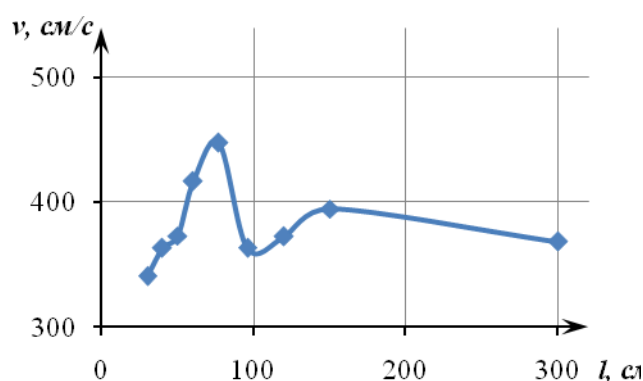


Рисунок 4 – Средняя скорость распространения пламени в подобных камерах в зависимости от её размеров

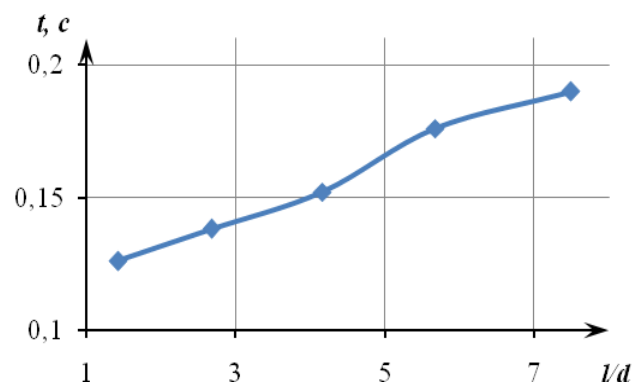


Рисунок 5 – Продолжительность взрыва в постоянном объёме $V=45 \text{ дм}^3$ при различных l/d

Результаты 2-го эксперимента. На рисунке 5 приведена расчётная зависимость продолжительности взрыва от отношения l/d при постоянном объёме камеры, эксперименты были «проведены» при $l/d=1,4, 2,7, 4,2, 5,7$ и $7,5$. Зажигание производилось по центру. Видно, что с увеличением отношения l/d продолжительность взрыва возрастает, причём связь близка к линейной. Заметим, что на этом эксперименте вместе с ростом времени выгорания смеси при увеличении l/d , средняя скорость распространения пламени также возрастала (рисунок б).

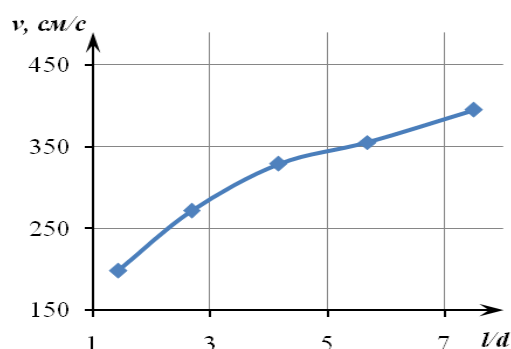


Рисунок 6 – Средняя скорость распространения пламени в различных камерах с $V=идем$

Обозревая полученные данные, отметим особенность процесса взрыва в закрытых выпуклых камерах, которая заключается в том, что его средние показатели процесса, прежде средняя скорость распространения пламени и время выгорания можно приближённо рассчитать с использованием простых зависимостей. В закрытых объёмах, по величине равных реальным топочным пространствам, средняя скорость распространения пламени составляет около 2 м/с и возрастает с увеличением длины камеры. Работа выполнена и опубликована при поддержке российского фонда фундаментальных исследований проект № 09.08.99019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мольков, В.В. Динамика сгорания газа в постоянном объёме при наличии истечения / В.В. Мольков, Ю.П. Некрасов // Физика горения и взрыва. – 1981. – т. 17. – №4. – С. 17-24.
2. Водяник Б.И. Динамика развития взрывов в замкнутых объёмах. – Обзор инф. Сер.: Техника безопасности, М.: НИИТЭХИМ, 1982, – 33 с.
3. Поландов, Ю.Х Моделирование процесса горения газо-воздушной смеси методом крупных частиц [Текст] / Ю.Х. Поландов, М.А. Барг, С.А. Власенко // Пожаро-взрывобезопасность: Научно-технический журнал ООО «Издательство «Пожнаука», 2007. – Т. 16. – № 3. – С. 6–9.

Поландов Юрий Христофорович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика»
 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел. (4862)413295
 E-mail: polandov@yandex.ru

Бабанков Виталий Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 студент 5 курса ОрелГТУ
 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел. (4862)413295
 E-mail: polandov@yandex.ru

его реализации. В качестве функции отклика для целей данного исследования наиболее целесообразно использовать значение массового содержания связанного в результате реакции алкилирования азота, которое определяется полнотой протекания реакции при фиксированном расходе реагентов.

Из литературных источников известно, что оптимальным значением рН при получении КтК является 11,0-11,5 [1]. Однако предварительно выполненные опыты позволяют скептически относиться к данному утверждению. Например, при введении в крахмальную суспензию алкилирующего реагента для получения массовой доли связанного азота на уровне 0,4 и 0,6% (в расчете на 70%-ную степень его использования) при равном фиксированном значении массового содержания избыточной щелочи получены соответственно результаты 0,39 и 0,42%. Таким образом, авторы считают, что более приемлемым технологическим фактором может служить мольное соотношение щелочь : алкилирующий реагент. В качестве основного уровня указанного фактора принято значение 1,7, верхнего и нижнего – экономически оправданные 2,0 и 1,4 соответственно.

Значения температуры, при котором целесообразно осуществлять алкилирование крахмала, определяются особенностями основного компонента реакционной смеси – нативного крахмала. При повышенных температурах водородные связи, удерживающие структурные части и молекулы воды, распадаются, в результате чего крахмальные зерна сначала набухают, а при дальнейшем нагревании лопаются, образуя вязкий коллоидный раствор, клейстер [1]. В щелочных условиях технологии получения КтК температура начала клейстеризации снижается. Значение температуры полной клейстеризации различно для крахмалов разного происхождения и при повышенных рН не превышает 50-55°C. Поэтому основным уровнем данного фактора принята температура 40°C, верхним – 45°C, нижним – 35°C. Снижение температуры алкилирования крахмала неоправданно вследствие резкого замедления скорости процесса.

В литературе приводятся различные данные о времени завершения реакции алкилирования. Она достаточно быстро проходит в первые 6-8 часов, а затем скорость ее резко уменьшается; в целом обработка длится примерно 24 часа. В качестве основного уровня длительности процесса принята величина в 6 часов, нижнего – 4 часа, верхнего – 8 часов (наибольшее значение в промышленных условиях).

Значения всех трех факторов и интервал их варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения и интервалы варьирования выбранных факторов

Факторы	Усл. обозн-е	Основной уровень	Интервал варьирования	Интервалы			
				верхний		нижний	
				Абсолютное значение	Кодированное значение	Абсолютное значение	Кодированное значение
мольное соотношение щелочь : алкилирующий реагент	X_1	1,7	0,3	2	1	1,4	-1
температура, °C	X_2	40	5	45	1	35	-1
длительность алкилирования, ч	X_3	6	2	4	1	8	-1

Наличие трех технологических факторов обуславливает необходимость проведения 8 экспериментов [2, 3]. Для обеспечения достоверности и воспроизводимости результатов каждый эксперимент проводили дважды в условиях рандомизации.

При постановке экспериментов была собрана лабораторная установка, включающая водный термостат с точностью регулирования температуры 1°C, в ванне которого закрепляется стеклянный реактор для проведения процесса алкилирования. Перемешивание крахмальной суспензии в реакторе осуществлялось при помощи универсальной электромехани-

ческой мешалки, позволяющей изменять интенсивность перемешивания. В качестве алкилирующего реагента использовали 3-хлор-2-гидроксипропилтриметиламмония хлорид, щелочной агент – гидроксид натрия. Эксперименты по получению КтК включали в себя внесение в предварительно приготовленную суспензию крахмала с содержанием сухих веществ 40% алкилирующего реагента (торговая марка QUAB-188) в виде 65%-ного раствора и гидроксида натрия в виде 10%-ного раствора, количество которого определялось значением фактора X_1 , выдерживание данной смеси при заданной температуре (фактор X_2), в течение строго определенного времени (фактор X_3), последующую нейтрализацию раствором соляной кислоты до достижения pH=7-8, обезвоживание крахмала с трехкратной промывкой и высушивание КтК до содержания влаги 12-14%.

Значение содержания связанного при алкилировании азота определяли по стандартной методике по Кьельдалю в соответствии с ГОСТ 7698-93 «Крахмал. Правила приемки и методы анализа».

Матрица планирования и полученные значения функции отклика приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты полного трехфакторного эксперимента

№ п/п	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	Y_1	Y_2	\bar{Y}	$\eta, \%$
1	1	1	1	1	1	1	1	0,38	0,39	0,385	67,1
2	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,18	0,185	0,1825	31,8
3	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,23	0,22	0,225	39,2
4	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,15	0,16	0,155	27,0
5	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,29	0,3	0,295	51,4
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,12	0,12	0,12	20,9
7	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,17	0,18	0,175	30,5
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,04	0,03	0,035	6,1

Значимость полученных коэффициентов регрессии оценена по критерию Стьюдента для доверительной вероятности $P=0,95$. Значимыми оказались следующие коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = 0,197, b_1 = 0,073, b_2 = 0,049, b_3 = 0,04, b_{12} = 0,021, b_{123} = 0,012$$

Соответственно с учетом значимых коэффициентов уравнение регрессии принимает вид (1):

$$Y = 0,197 + 0,073 \cdot X_1 + 0,049 \cdot X_2 + 0,04 \cdot X_3 + 0,021 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,012 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

Адекватность полученного уравнения проверена по критерию Фишера для доверительной вероятности $P=0,95$.

Значимость коэффициентов при факторах X_1 , X_2 и X_3 подтверждает выбор авторов в качестве определяющих технологических параметров значений соотношения реагентов, температуры и длительности алкилирования. Положительные значения коэффициентов для индивидуальных факторов свидетельствуют о том, что увеличение значения каждого из них в рамках принятых интервалов варьирования, ведет к росту содержания связанного азота в КтК (наивысшие результаты получены при двукратном избытке щелочи по отношению к алкилирующему реагенту, температуре 40°C и длительности 8 часов).

Однако весомость данных коэффициентов не позволяет делать выводы о механизме получения КтК. В этом отношении более информативны коэффициенты, характеризующие эффекты взаимодействия двух и трех факторов. Здесь значимыми оказались парный эффект соотношения реагентов и температуры, а также тройной эффект взаимодействия всех трех факторов.

Крахмал представляет собой природный полимер, состоящий из мономерных звеньев глюкозы. Реакционная способность крахмала определяется наличием трех свободных гидро-

кисильных групп у первого, третьего и шестого атомов углерода [4]. Однако не все из них вступают в реакцию алкилирования. Крахмал практически нерастворим в воде, таким образом, процесс получения КтК носит гетерогенный характер. Форма нахождения самого крахмала в природе – крахмальные зерна, имеющие слоистое строение. Слои состоят из частиц крахмальных полисахаридов, радиально расположенных и образующих зачатки кристаллической структуры. Чередующиеся слои крахмального зерна отличаются по устойчивости к нагреванию, плотности. Наружный слой более плотный, чем внутренние, и образует оболочку зерна. Внешняя оболочка крахмального зерна почти индифферентна к воде, а внутренняя способна к значительному набуханию [5]. Таким образом, большая часть свободных гидроксильных групп локализована внутри крахмального зерна и степень их участия в реакции алкилирования должна определяться диффузией реагентов. Однако в результате набухания и последующей клейстеризации происходит ослабление, а затем разрыв оболочки крахмального зерна и переход в раствор водорастворимой фракции крахмала. В результате указанных процессов увеличивается количество реакционных центров крахмальной молекулы, а значит увеличивается и скорость алкилирования. Многие исследователи показывают, что процесс клейстеризации определяется не только значением температуры, но и временем, необходимым для завершения клейстеризации при определенной температуре. Данное положение находит свое отражение в значении коэффициента b_{123} . Наличие же в системе щелочи снижает абсолютные значения данных факторов, что подтверждается величиной коэффициента b_{12} .

Значение степени использования алкилирующего реагента в лабораторных экспериментах по получению КтК, результаты которых приведены в таблице 2, колеблется от 6,1 до 67,1%, что соответствует литературным данным [1]. Указанная максимальная величина объясняется частичным образованием продуктов его гидролиза (минимум 25-30% от внесенного количества алкилирующего реагента), инертных по отношению к крахмалу в водной среде. Поэтому дальнейшее увеличение значений каждого из технологических факторов с целью оптимизации условий получения КтК не имеет смысла. Это приведет только к росту технологических потерь при сохранении достигаемого максимального уровня содержания связанного азота. Задача оптимизации технологической схемы производства КтК, целью которой является снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности готовой продукции, может быть решена одновременным увеличением значений одних факторов и уменьшением значений других.

Изменение длительности процесса нецелесообразно использовать в данном случае, потому что среди оптимизируемых факторов X_3 имеет наименьшую значимость. Для целей оптимизации наибольшую ценность представляют соотношение реагентов и температура процесса благодаря высоким уровням коэффициентов b_1 и b_2 , а также созданию ими парного эффекта взаимодействия. С одной стороны, большее количество задаваемого гидроксида натрия создает лучшие условия алкилирования, но с другой, ведет к увеличению расхода соляной кислоты на нейтрализацию суспензии перед обезвоживанием и сушкой готового продукта. При этом увеличенный расход указанных веществ ведет и к повышению солесодержания сбрасываемых сточных вод. Увеличение же температуры суспензии крахмала не влечет за собой значительных материальных затрат и может быть сопоставимо с потерями тепла в окружающую среду при нагреве реактора, в котором осуществляется алкилирование.

Теоретический расчет на основе полученного уравнения регрессии (1) при указанных в таблице 3 значениях факторов показывает, что уменьшение избытка вносимой щелочи на 15% при увеличении температуры суспензии на 5°C не снижает содержание связанного при алкилировании азота (таблица 3). Поэтому нами были проведены дополнительные опыты при незначительном шаговом варьировании факторов X_1 и X_2 . Во всех пяти опытах значения температуры превышают верхний предел, установленный при реализации полного трехфакторного эксперимента, однако полученные опытным путем данные соответствуют теоретическим.

Таблица 3 – Расчетные и опытные значения содержания связанного азота, % масс., в КтК при шаговом варьировании факторов

Характеристика и номер опыта	факторы			$Y_{расч}$	$Y_{опыт}$
	X_1 абсолютное значение/ кодированное значение	X_2 абсолютное значение, °C/ кодированное значение	X_3 абсолютное значение, ч/ кодированное значение		
начальный уровень	2,0/1	45/1	8/1	0,39	0,39
шаг движения	0,03/0,1	1/0,2	0/0	-	
Опыт 1	1,97/0,9	46/1,2	8/1	0,397	0,393
Опыт 2	1,94/0,8	47/1,4	8/1	0,401	0,398
Опыт 3	1,91/0,7	48/1,6	8/1	0,403	0,4
Опыт 4	1,88/0,6	49/1,8	8/1	0,405	0,401
Опыт 5	1,85/0,5	50/2,0	8/1	0,405	0,4
Опыт 6	1,82/0,4	51/2,2	8/1	0,403	0,397

Из таблицы 3 видно, что дальнейшее изменение факторов не представляется целесообразным, поскольку не ведет к увеличению функции отклика. Установление температуры выше 50°C ведет к снижению технологичности процесса вследствие увеличения вязкости крахмальной суспензии при клейстеризации.

Таким образом, наиболее оптимальными условиями получения КтК являются наличие 85%-ного мольного избытка щелочи по отношению к вносимому алкилирующему реагенту, нагрев и выдерживание суспензии крахмала при температуре 48-50°C в течение 8 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жушман, А.И. Модифицированные крахмалы / А. И. Жушман. - М.: Пищепромиздат, 2007. - 236 с.
2. Рузинов, А.П. Статистические методы оптимизации химических процессов / А.П. Рузинов. – М.: Химия, 1972. – 200 с.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
4. Грандберг, И.И. Органическая химия. Учебник для ВУЗов / И.И. Грандберг. – М.: Дрофа, 2001. – 672 с.
5. Трегубов, Н.Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов / Н.Н. Трегубов, Е.Я. Жарова, А.И. Жушман, Е.К. Сидорова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 472.

Куценко Станислав Алексеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Химия»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 419892
E-mail: chemistry@ostu.ru

Винокуров Андрей Юрьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Лаборант каф. «Химия»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 419892
E-mail: chemistry@ostu.ru

Седов Юрий Андреевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 419892
E-mail: chemistry@ostu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе впервые теоретически показана возможность расчета характеристик упругого состояния композиционного материала и возможности их изменения с помощью внешнего энергетического поля. Результат предлагается использовать для изготовления покрытий с заданными эксплуатационными и адгезионными свойствами.

Ключевые слова: композиционный материал, характеристики упругого состояния, адгезия, управление механическими свойствами.

In work possibility of calculation of characteristics of an elastic condition of a composite material and possibility of their change by means of an external power field for the first time is theoretically shown. The result is offered to be used for manufacturing of coverings with the set operational and adhesive properties.

Key words: a composite material, characteristics of an elastic condition, adhesion, management of mechanical properties.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Развитие современной промышленности выдвинуло в качестве первоочередного задания создание новых материалов с заданными механическими свойствами. Одним из направлений решения этой проблемы является разработка новых композиционных материалов на основе проектирования их свойств с помощью целенаправленного подбора их однородных компонент с заданными свойствами. В работе [1] рассмотрены теоретико-экспериментальные аспекты определения механических и адгезионных свойств композитных материалов и их изменение с помощью внешнего энергетического поля. В предлагаемой работе на основе результатов работ [2] развиваются теоретические положения этой работы в направлении обеспечения возможности расчета характеристик упругого состояния композиционного материала – модули Юнга и сдвига на основе информации о потенциалах взаимодействия частиц рассматриваемых материалов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Решение проблемы расчета характеристик упругого и адгезионного состояний предлагается осуществить на основе теоретических результатов, изложенных в работе [2], дополненных следующими положениями.

1. Любая частица dB с объемом dV произвольного тела B с объемом V состоит из двух частиц dB_α и $dB_{1-\alpha}$, занимающими соответственно объемы $dV_\alpha = \alpha dV$ и $dV_{1-\alpha} = (1-\alpha) dV$.
2. Частицы dB_α и $dB_{1-\alpha}$ имеют общий центр масс, характеризуемый радиус-вектором \vec{r} .
3. Каждая из частиц dB_α и $dB_{1-\alpha}$ взаимодействует с другими частицами $dB_{\alpha 1}$ и $dB_{1-\alpha 1}$ того же тела. Взаимодействие описывается с помощью потенциалов

$$\begin{aligned} \Phi_{\alpha\alpha} dV_\alpha dV_{\alpha 1} &= \alpha^2 \Phi_{\alpha\alpha} dV dV_1, \\ \Phi_{\alpha(1-\alpha)} dV_\alpha dV_{1-\alpha 1} &= \alpha(1-\alpha) \Phi_{\alpha(1-\alpha)} dV dV_1, \\ \Phi_{\alpha(1-\alpha)} &= \Phi_{(1-\alpha)\alpha} \\ \Phi_{(1-\alpha)(1-\alpha)} dV_{1-\alpha} dV_{1-\alpha 1} &= (1-\alpha)^2 \Phi_{(1-\alpha)(1-\alpha)} dV dV_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где $l = |\vec{l}| = |\vec{r}_1 - \vec{r}|$ – расстояние между взаимодействующими частицами.

Складывая потенциалы (1) можно получить выражение:

$$\int \left[\nabla^2 \Phi_{\alpha\alpha} + 2\alpha \nabla_{\alpha} \Phi_{\alpha(-\alpha)} + \nabla_{(-\alpha)}^2 \Phi_{(-\alpha)(-\alpha)} \right] dV dV_1 = \Phi dV dV_1 \quad (2)$$

В этом выражении величина

$$\int \left[\nabla^2 \Phi_{\alpha\alpha} + 2\alpha \nabla_{\alpha} \Phi_{\alpha(-\alpha)} + \nabla_{(-\alpha)}^2 \Phi_{(-\alpha)(-\alpha)} \right] \Phi \quad (3)$$

является плотностью потенциала (потенциалом) взаимодействия частиц dB и dB_1 материала тела B , состоящего из смеси двух материалов B_{α} и $B_{1-\alpha}$.

4. В соответствии с [2] тензор характеристик линейно упругого состояния материала определяются формулой

$$C_{ijkl}^{(1)} = \epsilon_i \epsilon_j \epsilon_k \epsilon_m C_{ijkl}^{(1)} = \int_{\Omega} \left[\nabla_{\vec{l}}^2 \Phi \right] dV_1 \quad (4)$$

Здесь $\nabla_{\vec{l}}^2 = \frac{d^2}{d\vec{l}^2}$ – вторая внешняя производная по вектору \vec{l} ; $\epsilon_j, j=1,2,3$, – ортонормированный базис.

Видно, что за счет изменения того или иного потенциала, входящего в (3) (то есть изменения материала одной из компонент) или доли какой-то из компонент в составе композита можно повлиять на значение компонент тензора (4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена теоретическая связь тензора упругих характеристик сплошной изотропной линейно упругой среды с потенциалами взаимодействия частиц составляющих ее разнородных материалов. Эта связь выявляет возможность теоретического предсказания того, из каких компонент следует изготовить композит, чтобы обеспечить заданные характеристики его упругого состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стухляк, П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П.Д. Стухляк, А.В. Букетов, І.Г. Добровтор. – Тернопіль: Збруч, 2008.-208с. (укр. яз.)
2. Шоркин, В.С. Модель сплошной упругой среды, основанная на представлении о дальнедействующем потенциальном взаимодействии ее частиц. / В.С. Шоркин // Упругость и неупругость. Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 95-летию со дня рождения А.А. Ильюшина (Москва, 19-20 января 2006 года) / Под ред. И.А. Кийко, Р.А. Васина, Г.Л. Бровко. – М.: Ленанд, 2006. – С. 271 – 282.

Букетов Андрей Викторович

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя
 Профессор кафедры компьютерно-интегрированных технологий, доцент
 Телефон: 38-0352-25-88-51
 E-mail: buketov@tstu.edu.ua

Шоркин Владимир Сергеевич

Орловский государственный технический университет
 Заведующий кафедрой «Физика»
 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Телефон: 8 (4862) 41-98-44
 E-mail: VShorkin@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ***

УДК 632.95+34:631.95

Т.В. ГУЩИНА

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ АПК

Рассмотрена эффективность технологии и технической базы для защиты растений, а также правовые основы безопасности и организация контроля безопасности на государственном уровне.

Ключевые слова: средства защиты растений, профзаболевания, временная нетрудоспособность, специальный комплекс машин, расход рабочей жидкости, санитарный надзор, экологическая безопасность.

Efficiency of technology and technical base for protection of plants, and also legal bases of safety and the organization of the control of safety at the state level is considered.

Key words: means of protection of plants, occupational diseases, the time invalidity, a special complex of machines, the charge of a working liquid, sanitary inspection, ecological safety.

Мировое сельскохозяйственное производство не может обойтись без пестицидов, которые применяются для борьбы с вредителями и болезнями полезных растений и сорняками ради сохранения потенциально возможного урожая. Продуктивность растениеводства зависит от применения химических средств защиты растений в сельскохозяйственном производстве /1,2/.

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур определяется уровнем химизации предприятий АПК, роль пестицидов увеличивается по мере роста урожайности. В 75 % случаях препараты защиты растений применяются методом опрыскивания с применением прогрессивных технологий и оборудования. Мировые тенденции в области разработки новых способов и технологий защиты растений направлены на снижение норм расхода пестицидов и уровня экологического загрязнения.

Применение ресурсосберегающих технологий позволяет повысить экономическую эффективность сельскохозяйственного производства. С другой стороны за счет биологической активности пестициды потенциально опасны для живой природы и здоровья людей. Использование биологически активных средств защиты растений заменило традиционное земледелие, трудоемкое, но экологически надежное.

Условия безопасного применения средств защиты. Особенности применения пестицидов в сельском хозяйстве являются разнообразие действующих веществ и условий их применения. При этом концентрация ядохимикатов в воздухе рабочей зоны может актуально превышать предельно допустимые величины в десятки, сотни и даже тысячи раз.

В сельском хозяйстве производственный процесс механизирован недостаточно. Например, на долю ручного труда при выполнении основных работ с пестицидами приходится 47,2 % при приготовлении рабочих растворов; 17 % при транспортировке; 31,7 % при обработке семенного материала и растений. Продолжительность работы при обработке растений пестицидами занимает 13,3 % при работе ежедневно до 2 часов; 38,0 % - при работе 2-4 часа; 42,0 % - при работе 4-6 часов и 6,7 % - при работе свыше 6 часов. Количество ядовитых веществ, проникающих через кожу, находится в прямой зависимости от величины поверхности соприкосновения с кожей, их растворимости в жирах, концентрации веществ. Пестициды, относящиеся к сильнодействующим высокотоксичным веществам, представляют большую опасность из-за способности вызвать острые отравления и являются источником свыше 86 % всех отравлений.

Всемирной организацией здравоохранения установлено, что ежегодно до 5 млн. работников получают отравления пестицидами, из которых умирает до 40 тыс. человек. Еже-

* Статьи разделов «Моделирование технологических процессов» – «Инновации и кадры в машиностроении», публикуются по материалам XII Международной научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы машиностроения – ТЕХНОЛОГИЯ-2010»

годные потери рабочего времени в АПК за счет временной нетрудоспособности достигают 110 млн. человеко-дней. Почти 60 % женщин и 45 % мужчин получают травмы и профзаболевания в работоспособном возрасте. Токсическое действие пестицидов вызывает 14 % всех производственных отравлений в отрасли, из которых 10 % случаев заканчиваются смертельным исходом. На работников полеводства приходится 90 % всех случаев отравлений.

Технологические процессы для обработки сельскохозяйственных культур и внесения пестицидов, применяемых для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений, а также с сорной растительностью на их посевах, определяются способами химической защиты растений. Наиболее распространенными являются: протравливание семенного и посадочного материала, опрыскивание, опыливание, применение аэрозолей, фумигация, способ отравленных приманок /1, 2/.

Наряду с традиционными и ресурсосберегающими технологиями внедряются принципиально новые:

– рециркуляционная, предусматривающая повторное использование рабочего раствора, стекающего с растений;

– инжекторная, при которой осуществляется отдельная подача воды и ядохимикатов, причем последние подаются непосредственно в штангу опрыскивателя во время его работ.

Мероприятия по защите растений осуществляются при помощи специального комплекса машин: наземной аппаратуры и авиационной техники, включая фермерские и индивидуальные хозяйства. Эффективность способа характеризуется размерами распыляемых капель рабочих растворов и густотой покрытия сельхозугодий.

Эффективность технологии защиты растений методом опрыскивания характеризуется размерами распыляемых капель рабочих растворов и густотой покрытия сельхозугодий. Фактическая картина распределения рабочей жидкости на 1 га рассчитывается по формуле / 3 /:

$$Q' = 0,523 \cdot 10^{-7} \cdot N \cdot D_{cp}^3 \quad (1)$$

где Q' – количество осевшей рабочей жидкости, л/га;

N – густота (плотность) покрытия целевого объекта, число капель на 1 см²;

D_{cp} – средний диаметр, осажденных на объекте капель, мкм;

$0,523 \cdot 10^{-7}$ – коэффициент перевода диаметров капель, мкм, в объем расхода жидкости, л/га.

Расход рабочей жидкости опрыскивателем рассчитывается по формуле:

$$Q = Q' \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2)$$

где Q – общий расход рабочей жидкости опрыскивателем, л/га;

K_1 – коэффициент облиственности растений;

K_2 – коэффициент потерь капель (от сноса ветром и стекания на почву).

Каждый технологический способ обработки растений имеет свои особенностями, предполагает использование соответствующих ядохимикатов и специального комплекса машин.

В Российской Федерации создано и развивается серийное производство сельскохозяйственной машиностроительной продукции для защиты растений, которая по технико-экономическому уровню и показателям экологической безопасности соответствует европейским стандартам.

Прогрессивные технологические процессы использования современных химических и биологических средств защиты и регуляторов роста растений должны опираться на новейшие конструкции с использованием новейших композиционных материалов наземных и авиационных машин.

Преимущественное развитие на этом этапе получили технические средства для различных технологий опрыскивания как традиционных, применяющихся длительное время, так принципиально новых экологически более безопасных технологий.

Техническая база сельхозтехники должна обладать высокими конструктивными, технологическими и экологическими параметрами, к которым относятся необходимость обеспечения технологической надежности и безотказность работы в агрессивных средах, способность внесения пестицидов с высокой степенью точности и равномерности.

Опрыскивающая техника должна обладать высокими конструктивными, технологическими и экологическими параметрами; предусматривать автоматический контроль и регулирование расхода рабочей жидкости во время эксплуатации.

Производство технических средств осуществляется на базе прогрессивных технологий с учетом адаптеров машинных технологий по методу блок-модульной агрегатно-узловой унификации.

Применение прогрессивной технологии позволяет снизить нормы расхода средств защиты растений, их потери при опрыскивании и уровень загрязнения окружающей среды химическими веществами, но контакта работника с пестицидами не исключает.

Пестициды соответствующей концентрации уничтожают сорняки и вредителей полезных растений, но являются опасными для работников. Химические препараты циркулируют во внешней среде, присутствуют в пищевых продуктах, чем создается возможность негативного контакта с ними человека в широких масштабах.

Особую актуальность приобретают вопросы правовых основ безопасности и организация контроля на государственном уровне, а также разработка мероприятий по обеспечению безопасности при работе с химическими средствами защиты растений.

В Российской Федерации осуществляет государственное управление в области безопасного обращения с пестицидами и агрохимикатами: при их разработке, производстве, реализации, хранении, транспортировке, применении, обезвреживании, утилизации, уничтожении, захоронении, рекламе, а также при ввозе в Российскую Федерацию и вывозе из Российской Федерации пестицидов и агрохимикатов /4, 5/.

Законодательством Российской Федерации обеспечивается охрана окружающей среды от загрязнений, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности. Уделяется особое внимание экологической безопасности: нормированию метрологическому обеспечению аналитического контроля загрязнений окружающей природной среды; критериям отнесения опасных отходов к классу опасности и утилизации пестицидов, а также вопросам экономического регулирования в области охраны окружающей среды.

Разрешение на хранение пестицидов оформляют органы санитарного надзора при условии соблюдения мер безопасности, организации санитарно-защитных зон на срок карантина, строгого учета и охраны и применения предупредительных знаков.

Безопасность человека достигается нормированием: установлены допустимые величины остатков пестицидов в пищевых продуктах и гигиенические нормативы допустимых уровней загрязнения рабочих помещений (воздуха рабочей зоны) химическими веществами.

Транспортировка, складирование и хранение пестицидов выполняются с учетом их совместимости, токсичности и горючести в герметичной таре. При хранении ХСЗР, которые относятся к пожаро- и взрывоопасным препаратам, необходимо создавать безопасные условия эксплуатации складов, соблюдать противопожарные мероприятия под ответственность руководителя организации.

Комплекс защитных организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий заключается в обучении персонала технологическим и санитарным режимам выполняемых работ; усвоении физико-химических свойств, применяемых препаратов, норм и сроков обработки растений; проведении инструктажей и повышении квалификации; врачебном осмотре и получении допуска к работе, соблюдении правил личной гигиены, в применении соответствующих средств индивидуальной защиты.

Уровень применяемой техники должен отвечать интегрированной защите растений, фитосанитарному состоянию сельскохозяйственных угодий и безопасности работников.

Учитывая, что в сельхозпродукции и растительных продуктах питания, загрязненных пестицидами, возможно образование токсических и стойких продуктов их превращения, поэтому их реализация осуществляется при следующем условии: содержание препаратов в готовой продукции не превышает установленных ДОК.

Одним из направлений государственной политики в области безопасности труда является установление компенсаций за тяжелые работы и работы с вредными условиями труда, не устранимыми при современном техническом уровне производства и организации труда.

В организации определяется перечень профессий и работ, для которых действующим законодательством предусмотрены компенсации по условиям труда: дополнительный от-

пуск; сокращенный рабочий день; доплаты работникам за тяжелые и вредные, особо тяжелые и особо вредные условия труда; государственная пенсия на льготных условиях; лечебно-профилактическое питание; молоко и другие равноценные пищевые продукты.

Обеспечение экологической безопасности при использовании пестицидов достигается экономическим регулированием в области охраны окружающей среды, основными направлениями которой являются:

- разработка государственных прогнозов социально-экономического развития; федеральных программ в области экологического развития и охраны окружающей среды; мероприятий и установления платы за загрязнение в целях предотвращения причинения вреда;
- установление лимитов на размещение отходов, выбросы и сбросы загрязняющих веществ;
- возмещение причиненного вреда и предоставление налоговых льгот;
- экономическая оценка природных и природно-антропогенных объектов и воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду.

При помощи аналитического контроля и экологического аудита осуществляются природоохранные мероприятия и документированная оценка хозяйственной и иной деятельности на соответствие нормативам и нормативным документам, в области охраны окружающей среды, требованиям международных стандартов и подготовка рекомендаций по улучшению такой деятельности

Обезвреживание (утилизация) неиспользуемых средств защиты растений рекомендуется проводить захоронением в герметичных контейнерах; переработкой методом высокотемпературного сжигания с образованием твердые токсичные отходы в объеме 10-15% от первоначальной массы перерабатываемых веществ; утилизацией методом низкотемпературного окисления без образования побочных вредных веществ.

ВЫВОДЫ

1. Эффективность сельскохозяйственного производства и обеспечение населения его продукцией в полной мере зависит от применения интенсивных ресурсосберегающих технологий химических средств защиты растений в сельскохозяйственном производстве.

2. Обеспечение безопасности и организация контроля в области применения химических средств защиты растений возможно только на государственном уровне.

В Российской Федерации осуществляет государственное управление в области безопасного обращения с пестицидами и агрохимикатами: при их разработке, производстве, реализации, хранении, транспортировке, применении, обезвреживании, утилизации, уничтожении, захоронении, рекламе, а также при ввозе в Российскую Федерацию и вывозе из Российской Федерации пестицидов и агрохимикатов.

Законодательством Российской Федерации обеспечивается охрана окружающей среды от загрязнений, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьева, Н.Ф. Технологии и технические средства для защиты сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней / Н.Ф. Соловьева. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. - 60 с.
2. Фитосанитарный щит для продовольствия России/ Под ред. академиков Россельхозакадемии В.А. Захаренко и К.В.Новожилова. – М., С.-Пб.: Изд-во «Интрейд корпорейшен», 1998. - 140 с.
3. Веретенников, Ю.М. Некоторые вариации вокруг коэффициента вариации / Ю.М. Веретенников, А.И. Чугунов // Защита растений. – 1991. – № 2.- С.13-15.
4. О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами: федер. закон 24.06.1997г. Государственной думой.
5. Гущина, Т.В. Концепция безопасного применения пестицидов: моногр. / Т.В. Гущина. – Орел: ОрелГАУ, 2008.- 356 с.

Гущина Татьяна Викторовна

Орловский государственный аграрный университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры БЖД на производстве
302019, ул. Генерала Родина, 69
Тел. (4862) 720333

УДК 621.9.047

О.Н. КИРИЛЛОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕПРОФИЛИРОВАННОГО НЕЖЕСТКОГО ЭЛЕКТРОДА ЩЕТКИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ОБРАБАТЫВАЕМОГО ИЗДЕЛИЯ, ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИВЕДЕНЫ ВЫВОДЫ.

Рассмотрена модель взаимодействия проволок непрофилированного электрода - щетки с поверхностью обрабатываемого изделия, по результатам моделирования приведены выводы.

Ключевые слова: модель, непрофилированный, нежесткий, электрод-щетка.

The model of the wires of the non-profile electrode-brush's interaction with the surface of the treated product is considered in the article. Conclusions are made in accordance with the results of the modeling.

Key words: model, non-profile, non-solid, electrode-brush.

Многолетний опыт [1] показывает, что основным управляющим фактором при комбинированной обработке электродом – щеткой является существующая в действительности величина межэлектродного зазора в реальном масштабе времени или гарантированный зазор. Это новый термин. Он вводится взамен так называемых прижимов. Гарантированный зазор заключается в том, что положение рабочей части инструмента в статике может быть назначено таким образом, что в процессе обработки не будет возникать длительных прямых контактов между инструментом и заготовкой, что исключает образование дуговых разрядов, нарушающих качество обработки (точность, поверхностный слой) и за счет этого снимаются ограничения по ширине электрода – щетки, что обеспечивает высокую интенсивность процесса размерной обработки при сохранении качества поверхностного слоя. Наличие долговременных контактов вызывает появление дугового разряда и сваривание гибкого непрофилированного инструмента с заготовкой, с последующим повышенным износом инструмента из – за вырывания и обрыва пучков проволоки из его корпуса. Управление гарантированным зазором возможно, если установить динамику изменения положения концов проволоки с учетом взаимодействия с соседними проволочками пучка. Здесь должны учитываться механические свойства, геометрия электрода, параметры импульсов. В литературе [2] даются рекомендации по изменению зазоров между электродами путем регулирования величины контактов проволоки и заготовки в исходном состоянии, без учета динамики перемещения инструмента, хотя известно, что процесс комбинированной обработки электродом – щеткой возможен только при его вращении или, в частном случае, при поступательном движении.

Рассматривая единичную проволочку в пучке, можно аппроксимировать её гибким стержнем, защемленным с одного конца. Тогда схема действия сил может быть представлена в виде показанном на рисунке 1а, б.

а) Схема действия сил

б) Положение проволоки электрода – щетки

1 – место защемления электрода – проволоки;

2 – обрабатываемая заготовка;

ω – угловая скорость вращения электрода – щетки;

P_p – сила разряда в направлении перпендикулярном месту обработки заготовки;

P_c – сила сопротивления изгибу проволоки;

P_0 – нулевой контакт проволоки с заготовкой в статике;

φ – угол наклона приложения силы относительно оси OX;

α – угол между касательной и осью OX;

l_n – расстояние между концами проволоки;

L – длина проволоки;

β – угол между направлением силы и касательной

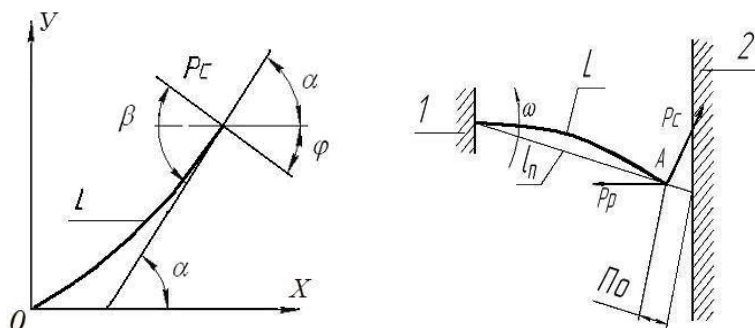


Рисунок 1 – Обработка электродом – щеткой

Моделирование процесса взаимодействия непрофилированного нежесткого электрода-щетке с заготовкой выполняем при следующих начальных и граничных условиях.

Начальные условия модели включают:

- геометрические размеры проволоки и формы обрабатываемой поверхности;
- механические характеристики проволоки и обрабатываемого материала;
- положение проволоки в пучке;
- режим обработки.

Граничные условия модели следующие:

- время контакта конца проволоки с заготовкой не может превышать периода импульсного разряда до перехода его в дуговой;
- жесткость проволоки не должна превышать сопротивление изгибу под действием силы импульса.

Из рисунка 1 величина нулевого контакта инструмента и заготовки определяется по формуле (1):

$$\Pi_0 = L - l_n \tag{1}$$

Положение точки А относительно места разряда определяется изгибом проволоки, вызывающим её укорачивание, и траекторией перемещения электрода – щетки относительно обрабатываемой поверхности.

Управление процессом обработки возможно, если в каждый момент времени τ известно положение точки А относительно заготовки.

Из [3], [4], [5] координата точки А (x_τ ; y_τ) может быть оценена:

$$x_\tau = L \left[\left(2 \frac{P_c E - E_1}{P_c K - F_1} - 1 \right) \cos \varphi + \frac{2 \bar{k} \text{cn} F_1}{P_c - F_1} \sin \varphi \right] \tag{2}$$

$$y_\tau = L \left[\frac{2 \bar{k} \text{cn} F_1}{P_c K - F_1} \cos \varphi - \left(2 \frac{P_c E - E_1}{P_c K - F_1} - 1 \right) \sin \varphi \right], \tag{3}$$

где E – модуль продольной упругости материала проволоки.

$$\bar{k} = \frac{E \text{arcsin} \left(\frac{A}{2K} \right)}{K}$$

$$\bar{k} = \sin \beta / 2;$$

K – модуль функций, в нашем случае $K \approx 1$

В (2) и (3) $\frac{E \text{arcsin} \left(\frac{A}{2K} \right)}{K}$

$\text{cn} F_1$ – эллиптический косинус Якоби;

Начало изгиба проволоки может быть оценено через эйлерову критическую силу P_9 ,

$$P_9 = \frac{P_c}{\left\{ (2/\pi)^2 \left[(n-1) K \left(\sin \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) \right] - F \left[\arcsin \left(\frac{\varphi}{2} \right)^{\frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}}}, \sin \frac{\beta}{2} \right] \right\}^2}, \tag{4}$$

где n – номер замера при заданном угле β (в расчетах обычно принимают $n = 1$).

Таким образом для случая единичной проволоки координаты точки А могут быть выражены:

$$\left[\frac{P_c E \text{arcsin} \left(\frac{A}{2K} \right)}{K} \right]$$

$$\left[\frac{P_c E \text{arcsin} \left(\frac{A}{2K} \right)}{K} \right]$$

Сила P_p от воздействия импульса может быть по [6]:

$$P_p = \left(\frac{\mu I^2}{4\pi} \right) \gamma_n \frac{r_d}{r_s} \quad (7)$$

где μ – магнитная проницаемость расплава в зоне импульса;

I – ток за время импульса;

r_d – радиус канала разряда;

r_s – радиус электрода – проволоки.

Эксперименты показали, что для проволочных электродов их материал, рабочую среду, полярность можно с достаточной точностью учесть коэффициентом K_u , в этом случае

$$P_p = K_u I^2 \quad (8)$$

При использовании прямой полярности $K_u = 13,7 \cdot 10^{-8} \text{ н/А}^2$.

Тогда в любой момент времени длина хорды l_n (рисунок 1) составит:

$$l_n = \sqrt{x_c^2 + y_c^2} \quad (9)$$

Расчеты выполненные по зависимости (1), позволяют найти момент касания проволокой заготовки при условии, что она представляет из себя натянутую струну. В процессе работы электрода – щетки проволока изгибается и придать ей прямолинейную форму можно только за счет центробежных сил от вращения инструмента. Учитывая большое соотношение длины проволоки к ее диаметру, можно с некоторым запасом принять, что она является упругим стержнем, у которого масса m_n сосредоточена на свободном конце. Тогда

$$P_{ца} = \frac{m_n \cdot V^2}{R_s} \quad (10)$$

где V – окружная скорость электрода – щетки на периферии инструмента;

R_s – радиус электрода – щетки.

После некоторых преобразований:

$$P_p = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot d_{пр}^2 \cdot f}{7200} \quad (11)$$

где γ – плотность материала проволоки,

$d_{пр}$ – диаметр проволоки;

D_3 – диаметр электрода – щетки,

n – частота вращения электрода – щетки.

Противодействует $P_{ц.б.}$ сила сжатия P_d проволоки в пучке, которое необходимо обеспечить:

$$P_{ц.б.} + P_p > P_d \quad (12)$$

В (12) $P_d = f(P_2 - P_1) m_n D_3 d_{пр}$,

где P_1, P_2 – давление сжатия в пучке;

f – коэффициент трения.

Граничным условием стабильности процесса является устойчивость положения проволоки от воздействия импульса разряда (сила действия разряда P_p).

Из уравнения Эйлера при известной P_p можно найти предельную длину проволоки, обеспечивающую возможность ее изгиба и увеличение величины гарантированного зазора между концом проволоки и зоной обработки

Для схемы на рисунок 2 (разряд воздействует вдоль проволоки) предельная длина проволоки L , с учетом коэффициента устойчивости K_y её положения в пучке, составит:

$$L = K_y \sqrt{\frac{\pi E I_{mi}}{\mu}} \quad (13)$$

где E – модуль продольной упругости.

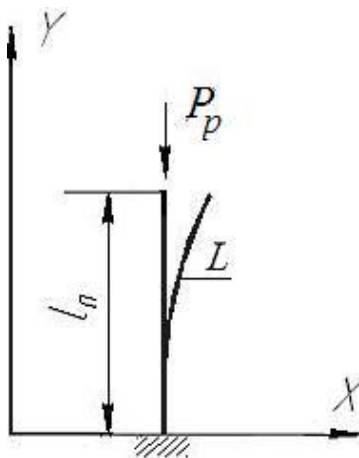


Рисунок 2 – Схема потери устойчивости проволоки от действия сил импульса

Для стали $E = 2 \cdot 10^7$ МПа, для медных сплавов $E = 1,3 \cdot 10^7$ МПа [8].

I_{\min} – момент инерции проволоки (как стержня с заземленным концом), по [8]
 $I_{\min} = 0,05 d_{\text{пр}}^4$

μ – коэффициент приведенной длины.

В нашем случае $\mu = 2$ [8].

K_y – зависит от плотности набивки проволок в инструменте. Для плотности 0,7 K_y находится в пределах 1,5 – 2,0.

ВЫВОДЫ

1. Обоснован порядок использования в технологическом режиме регулируемой окружной скорости, где учитывается износ инструмента, механические и геометрические параметры проволочного электрода и электрические режимы процесса.

2. Для снижения износа непрофилированного нежесткого проволочного электрода необходимо перед подачей рабочего тока задать перемещение концов инструмента относительно заготовки с расчетной скоростью, что является необходимым параметром технологического процесса обработки для получения качественной поверхности изделия. Порядок включения перемещения концов непрофилированного инструмента определяется относительно начала подачи рабочего тока.

3. В работе установлен порядок расчета величины гарантированного зазора между концом проволоки и поверхностью обрабатываемого изделия, что позволило управлять скоростью вращения электрода – щетки и обеспечивать геометрические характеристики стабильного процесса чистового формообразования сложноконтурных объектов обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов, О.Н. Качество поверхности после обработки электродом-щеткой / О.Н. Кириллов, В.П. Смоленцев // Электрофизические и электрохимические технологии. Тезисы докл. межвуз. науч.-тех. конф. Санкт-Петербург, С-Пб ГТУ, 1997. с. 146.
2. Смоленцев, В.П. Износ электрода-щеткой при обработке поверхностей с переменным припуском / В.П. Смоленцев, О.Н. Кириллов, Н.А. Тюкачев // Деп. в МИВИ №ДО 8684 24.10.1996. 15с. Аннотирована: ж. «Авиационная техника». Казань № 3. 1997.
3. Захаров, Ю.В. Изгиб стержней под действием следящей нагрузки / Ю.В. Захаров, К.Г. Охоткин, А.Д. Скоробогатов // ПИМТФ, 2004, Т.45, № 5. с. 167-175.
4. Захаров, Ю.В. Задачи нелинейного изгиба стержневых конструкций / Ю.В. Захаров, К.Г. Охоткин, В.В. Исакова, А.Д. Скоробогатов // Вестник Сиб ГАУ, 2005. Вып. 6. с. 46-51.
5. Захаров, Ю.В. Нелинейный изгиб консоли распределенной нагрузкой / Ю.В. Захаров, К.Г. Охоткин, А.Д. Скоробогатов // Вестник Сиб ГАУ, 2006. Вып. 4 (11). с. 21-24.
6. Витлин, В.Б. Электрофизико-химические методы обработки в металлургическом производстве / В.Б. Витлин, А.С. Давыдов // М.: Металлургия, 1988. 127с.
7. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки / Е.В. Смоленцев. – М.: Машиностроение, 2005. – 511с.
8. Справочник металлиста. Т. 1 / Под ред. С.А. Чернавского, В.Ф. Решикова М.: Машиностроение, 1976. 768с.

Кириллов Олег Николаевич

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Тел. (4732) 31-59-61

E-mail: oli-shendro@yandex.ru

УДК 621.9

А.В.КИРИЧЕК, М.Ф. СЕЛЕМЕНЕВ, К.Ф. СЕЛЕМЕНЕВ,
Е.В. ШУМАЕВ, А.Ф. ОСИПОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАРЕЗАНИЯ И НАКАТЫВАНИЯ РЕЗЬБ В САЕ-СИСТЕМАХ (DEFORM-3D)

Рассматриваются процессы моделирования технологических процессов нарезания и накатывания резьб САЕ-системах (DEFORM-3D).

Ключевые слова: *эпилам, поверхностно-пластическое деформирование, стойкость инструмента, моделирование.*

Processes of modelling of technological processes нарезания and накатывания carvings CAE-SYSTEMS (DEFORM-3D) are considered.

Key words: *epilam, surface-plastic deformation, tool life, simulation.*

Процессы нарезания и накатывания резьб характеризуются высокой степенью деформации, значительными силами трения и контактными давлениями. Влияние большинства условий формирования резьбы на данные характеристики связано с соответствующим изменением контактных процессов на передней поверхности инструмента.

Процесс резания металлов сопровождается тепловыделением в результате того, что механическая работа резания переходит в тепловую энергию. Наиболее интенсивное выделение тепла происходит в области стружкообразования, прилегающей к плоскости скалывания. В этой области теплота выделяется в результате двух одновременно протекающих процессов: во-первых, в результате пластической деформации сдвига элементов образующейся стружки по плоскости скалывания; во-вторых, в результате пластической деформации сжатия и частично пластической деформации смятия тонкого слоя металла примыкающего к плоскости скалывания со стороны срезаемого слоя припуска [1].

Сила трения и вызываемые ей на контактных поверхностях касательные напряжения зависят от прочностных показателей металла, нормальных к контактной поверхности напряжений, качества поверхности инструмента, вязкости смазочной среды, скорости скольжения в зоне контакта, толщины смазочного слоя и других факторов. При нормальном давлении, вызывающем пластическую деформацию в поверхностном слое и приконтактных слоях, происходят явления качественно отличные от упругого контакта. При увеличении деформирующей силы фактическая контактная поверхность растет в результате того, что в соприкосновение с инструментом происходят все новые и новые клиновидные неровности деформируемого тела. Это приводит к увеличению касательных напряжений. В процессе пластического смятия клиновидных выступов на поверхности контакта наблюдается асимптотическое приближение шероховатости контактной поверхности деформируемого тела к шероховатости поверхности инструмента. В процессе накатывания может быть любой режим трения: сухой, полужидкий и гидродинамический. Данные режимы могут присутствовать как каждый в отдельности, так и одновременно в одном технологическом процессе.

В настоящее время существует множество способов для расчета деформаций и измерения температур в зоне резания и накатывания. К ним относятся: математическое моделирование, физическое измерение, компьютерное моделирование обработки и т.д. Наиболее производительным и современным способом является создание компьютерной модели операции механической обработки, поскольку он позволяет значительно сократить время и затраты на расчет.

Существуют различные программы для расчета пластических деформаций. Для этих целей применяют системы компьютерной математики (Matematika, Mathcad, Maple), универсальные расчетные программы (Ansys, MSC Nastran, Femlab) или специализированные инженерные программы (Deform 3D, SuperForm, LS-Dyna). Последние являются наиболее удобными и обладают широким спектром возможностей.

На основе существующих заводских чертежей инструментов Метчика 3/4" МА2389 и Раскатника 3/4" Р-60.000, применяемых для получения резьб в крышках масляных фильтров, а так же с учетом рассчитанных геометрических параметров, были созданы твердотельные

трехмерные модели данных инструментов в системе SolidWorks. Данные модели позволяют не только проанализировать геометрические параметры проектируемого инструмента, но и провести в системе DEFORM-3D расчет напряжений и температур, возникающих на рабочей поверхности инструмента.

DEFORM-3D – CAE-система моделирования технологических процессов, разработанная компанией Scientific Forming Technologies Corp. (США), предназначена для анализа трехмерного (3D) поведения металла при различных процессах обработки. Она дает возможность моделировать значительные объемные пластические деформации и обладает современным, интуитивно понятным графическим интерфейсом. DEFORM-3D основан на методе конечных элементов, одном из самых известных, надежных и применяемых в настоящее время расчетных методов. Метод конечных элементов является сеточным методом, предназначенным для решения задач микроуровня, для которого модель объекта задается системой дифференциальных уравнений в частных производных с заданными краевыми условиями (рисунок 1).

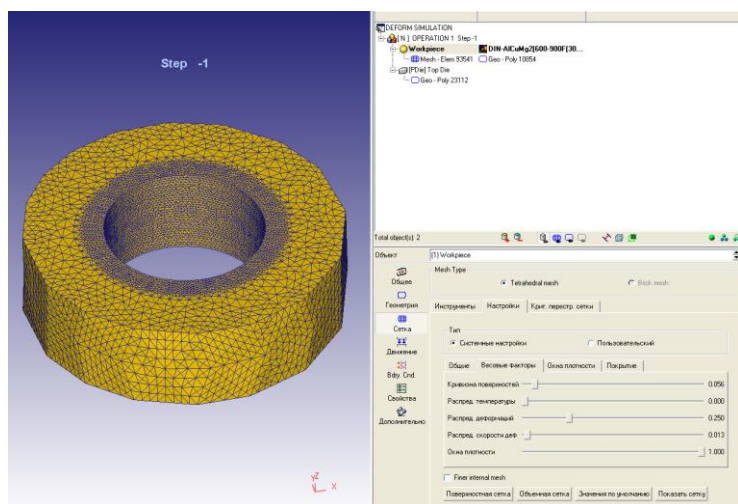


Рисунок 1 – Разбиение заготовки на конечные элементы

Созданная модель заготовки разбивается на конечные элементы. Параметры разбиения заготовки на конечные элементы выбирались так, чтобы обеспечивалась достаточная точность сетки и, следовательно, точность расчетов в очаге деформации при минимальном числе элементов (для обеспечения приемлемой скорости расчетов). Поскольку деформация при формировании резьбы носит локальный характер, наибольшая точность расчетов должна быть достигнута в сравнительно небольшом по размерам очаге деформации. Следовательно, размеры элементов в очаге деформации должны быть значительно меньше, чем в объемах заготовки, не подвергающихся деформации [3].

При задании параметров разбиения заготовки максимальный размер конечного элемента составил 0,73 мм, а минимальный 0,26 мм. Такое значение минимального размера конечного элемента достаточно для аппроксимации вершины витка инструмента имеющей высоту профиля 1,2 мм. Общее число элементов сравнительно невелико, около 100000.

Для предотвращения любых перемещений заготовки в результате воздействия на нее инструмента, конечным элементам наружного диаметра были заданы граничные условия, запрещающие перемещения по осям X, Y, Z.

Для определения контактных взаимодействий инструмента и заготовки устанавливается величина коэффициента трения. Стандартное значение коэффициента трения при механической обработке равно 0,9. Одним из наиболее эффективных способов снижения трения, путем удержания в зоне резания смазывающей среды, является нанесение на рабочую поверхность инструмента фторированных ПАВ из растворов эпиламов. Сформированное тонкопленочное покрытие понижает поверхностную энергию твердых тел (для металлов до 2...4 МДж/м²), предотвращая при этом растекание практически любых смазочных масел из зоны трения, обеспечивая тем самым снижение коэффициента трения. Покрытие хорошо удерживается на поверхности различных материалов благодаря высокой адсорбционной способности, не смываемо при многократных промывках различными стандартными промывочными жидкостями, выдерживает давление до 3500 Н/м², термостабильно до 450 °С [2]. Для определения влияния нанопленок эпиламов был введен коэффициент трения равный 0,6.

Так же, для достижения требуемой точности полученных данных, был введен коэффициент теплообмена взаимодействия инструмента и заготовки. В системе DEFORM в качестве единицы измерения теплопроводности используется N/sec/mm/C. В зарубежных источниках, рекомендуемое значение коэффициента теплообмена при обработке сплавов на основе алюминия составляет 45 N/sec/mm/C.

Так же, для достижения требуемой точности полученных данных, был введен коэффициент теплообмена взаимодействия инструмента и заготовки. В системе DEFORM в качестве единицы измерения теплопроводности используется N/sec/mm/C. В зарубежных источниках, рекомендуемое значение коэффициента теплообмена при обработке сплавов на основе алюминия составляет 45 N/sec/mm/C.

Следующий этап подготовки расчета - задание параметров перемещения инструмента, т.е. выбор оптимальных режимов резания. Поскольку шаг резьбы равен 1,58 мм, соответственно и подача инструмента должна составлять $S = 1,58$ мм/об. В DEFORM единицей перемещения инструмента, вдоль какой либо оси, является мм/с, поэтому необходимо переводить значения подачи в зависимости от выбранной частоты вращения инструмента.

Скорость нарезания резьбы напрямую влияет на стойкость инструмента и качество сформированной поверхности (рисунок 2). Анализ рекомендаций по выбору режимов резания показал, что оптимальным, при нарезания резьбы в алюминиевых сплавах метчиками из быстрорежущей стали, является диапазон $v = 15 - 30$ м/мин. Скорость резьбовываивания выбирается с учетом физико-механических свойств материала заготовки и инструмента, состава смазывающе-охлаждающей жидкости и др. Рекомендуемые скорости для накатывания в данных условиях $v = 7 - 15$ м/мин. [4]

В системе DEFORM скорость резания регулируется назначением частоты вращения инструмента. Для более глубокого анализа возникающих температур и деформаций в зоне резания, моделирование нарезания резьбы проводилось с частотами вращения $n = 350; 450; 550$ об/мин, а накатывание с частотами $n = 100; 150; 250$ об/мин. Данные часты вращения лежат в пределах рекомендуемых скоростей для каждого вида обработки.

В DEFORM существует шаг перемещения инструмента и временной шаг. При поиске решения целесообразно использовать постоянный временной шаг, так как инструмент имеет несколько движений. Шаг выбирался так, чтобы обеспечивалось перемещение инструмента относительно заготовки за один шаг на расстояние, не превышающее минимальной длины стороны конечного элемента [3].

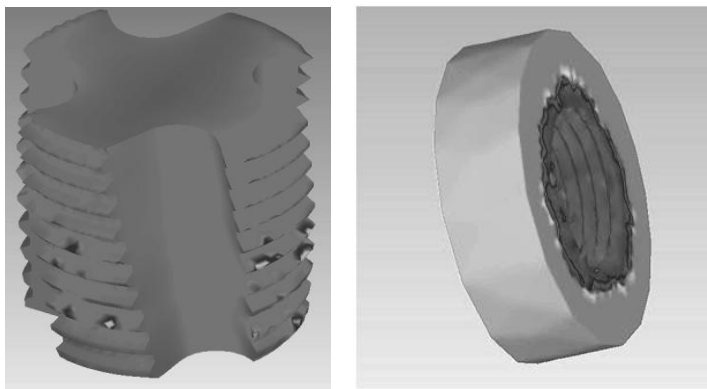


Рисунок 2 – Поля деформаций и напряжений на поверхностях заготовки и инструмента

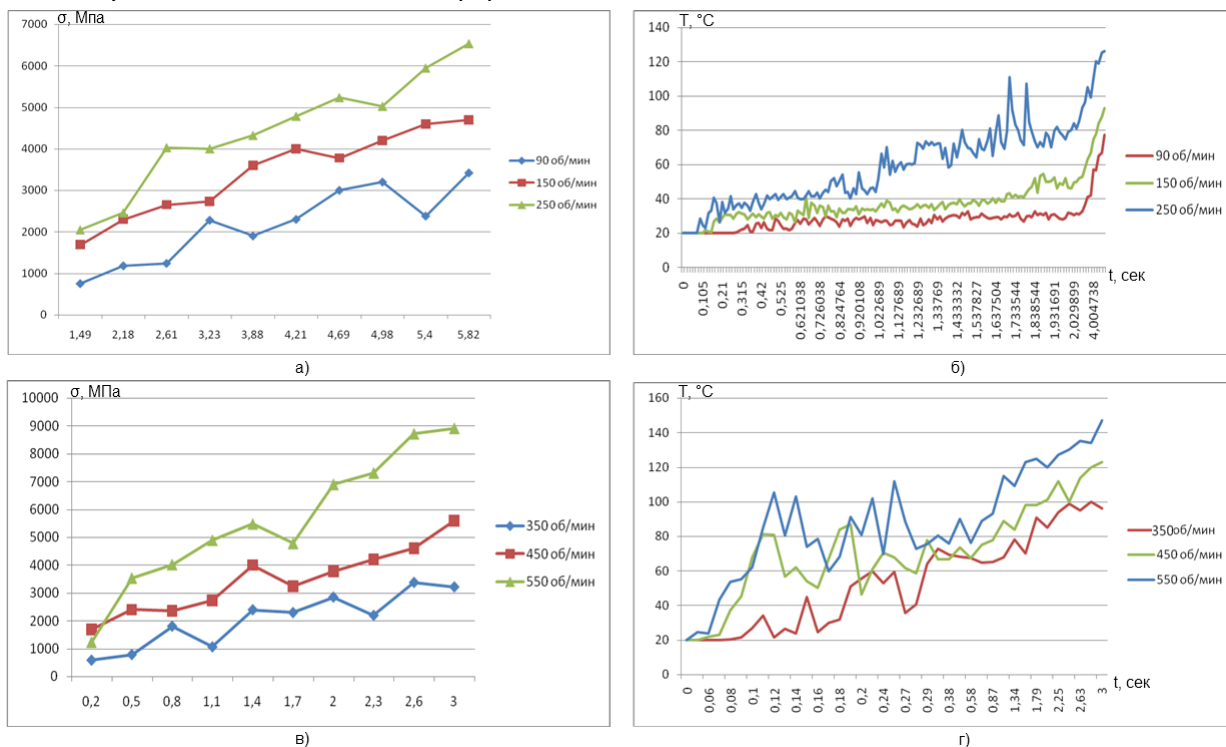


Рисунок 3 – Графики напряжений и температур, возникающих на поверхностях метчика и раскатника

- а – зависимости напряжения σ от времени t при накатывании резьбы;
- б – зависимости температуры T от времени t при накатывании резьбы;
- в – зависимости напряжения σ от времени t при нарезании резьбы;
- г – зависимости температуры T от времени t при нарезании резьбы

Моделирование процессов резания в системе DEFORM показывают, что полученные значения температур в зоне обработки не превышают 150 °С (рисунок 3). При этом, температура тепловой деструкции пленки эпилама составляет 450 °С, что позволяет сделать вывод о целесообразности применения технологии эпиламирования при нарезании и накатывании резьб. Нанесение покрытия эпилама значительно снижает коэффициент трения и уменьшает напряжения, возникающие на рабочей поверхности инструмента, увеличивая стойкость в несколько раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подгорков, В.В. Теория резания: учеб. пособие / В.В. Подгорков. – Иваново: ИвГУ, 1989. – 80с. : ил.
2. Киричек, А.В. Эпиламирование – нанотехнология для повышения эффективности механической обработки / А.В. Киричек, Е.А. Звягина // Справочник. Инженерный журнал. – 2007. – №2. – С.15-18.
3. Киричек, А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния резьбонакатного инструмента и заготовки методом конечных элементов / А.В. Киричек, А.Н. Афонин // СТИН. – 2007. - № 7. – С. 21 – 25.
4. Якухин В.Г. Изготовление резьбы / В.Г. Якухин, В.А. Ставров. – Справочник. М.: Машиностроение, 1989. – 192 с.

Киричек Андрей Викторович

Орловский государственный технический университет г. Орел
Доктор технических наук, профессор, директор Технологического института ОрелГТУ
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
тел(4862)555524,
E-mail avk@ostu.ru

Селеменов Михаил Федорович

Орловский государственный технический университет г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
тел(4862)541503,
E-mail: Selemenev2007@yandex.ru

Селеменов Константин Федорович

Орловский государственный технический университет г. Орел
Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
тел(4862)541503
E-mail: Selkostik@yandex.ru

Шумаев Евгений Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
магистр кафедры «Технология машиностроения и конструкторского технологической информатики»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862)541503,
E-mail: shumaev007@mail.ru

Осипова Анна Федоровна

Орловский государственный технический университет г. Орел
Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
тел(4862)555524,
E-mail: ti@ostu.ru

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.762.227

Е.В. АГЕЕВ, Б.А. СЕМЕНИХИН, Р.А. ЛАТЫПОВ

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ WC-Co И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

В статье представлены сведения по существующим методам и применяемому оборудованию для получения порошков из отходов твердых сплавов, на основании чего была разработана электрическая схема и выполнен монтаж оборудования для получения наноструктурных порошков на основе системы WC-Co.

Ключевые слова: получение порошков, отходы твердых сплавов, электроэрозионное диспергирование, установка электроэрозионного диспергирования.

In the article the items of information on existing methods and used equipment for obtaining powders from scraps of hard alloys are submitted, on the basis of that the electrical circuit was developed and the equipment installation for obtaining nanostructural of powders is executed on the basis of a system WC-Co.

Key words: obtaining of powder materials, scraps of hard alloys, electroerosive dispersion, installation electroerosive dispersion.

Прогресс в современной технике неразрывно связан с достижениями в области порошковой металлургии. Порошковая металлургия занимает значительное место в создании перспективных современных материалов, обладающих высокой прочностью, жаростойкостью, твердостью, износостойкостью, малой плотностью, специальными магнитными и оптическими характеристиками и т.п.

Среди порошковых материалов, обладающих высокой твердостью и стойкостью к абразивному износу, одними из наиболее перспективных являются порошки на основе систем WC-Co, WC-TiC-Co и WC-TiC-TaC-Co, являющиеся основой спеченных твердых сплавов групп ВК, ТК и ТТК, которые нашли широкое распространение в качестве режущих, износостойких, буровых, штамповых и других материалов.

Анализ исследовательских работ в области твердых сплавов показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии вольфрама. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения вольфрама. С экономией вольфрама тесно связаны мероприятия по сбору отходов твердых сплавов и их переработка.

Применяемые в настоящее время механические и физико-химические способы получения порошков путем переработки отходов спеченных твердых сплавов отличаются крупнотоннажностью, энергоёмкостью, большими производственными площадями, а также, зачастую, экологическими проблемами (сточные воды, вредные выбросы). Одним из наиболее перспективных методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и твердого сплава, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами, безвредностью и экологической чистотой процесса, отсутствием механического износа оборудования, получением порошка непосредственно из кусков твердого сплава различной формы за одну операцию, получением частиц преимущественно сферической формы размером от нескольких нанометров до сотен микрон является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [1, 2, 3].

Первые исследования по применению электрической эрозии металла для получения порошков относятся к 40-ым годам прошлого столетия. В 1943 году Б.Р. Лазаренко и Н.И.

Лазаренко предложили использовать эффект электрической эрозии для получения высокодисперсных порошков [4, 5].

Процесс ЭЭД представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами. В зоне разряда под действием высоких температур происходит нагрев, расплавление и частичное испарение материала.

Для осуществления процесса ЭЭД авторами была разработана экспериментальная установка ЭЭД, состоящая из регулятора напряжения, генератора импульсов (ГИ) и реактора.

Регулятор напряжения служит для регулирования и установки необходимого переменного напряжения на входе генератора импульсов в пределах от 0 до 250 В. В качестве регулятора напряжения был использован регулятор напряжения однофазный РНО–250–10 ТУ 16.-517.298–70.

ГИ, внешний вид которого представлен на рисунке 1, собран по однозвенной схеме с резонансным зарядом рабочего емкостного накопителя от источника постоянного напряжения. ГИ состоит из двух основных функциональных узлов: силового блока и блока управления.

В состав силового блока входят: однофазный выпрямитель, преобразующий переменное напряжение 0–250 В в постоянное; опорная батарея конденсаторов, фильтрующих выпрямленное напряжение; зарядный тиристорный коммутатор, обеспечивающий резонансный заряд рабочего накопителя и его отключение от опорной батареи конденсаторов на время формирования импульса разрядного тока; рабочий накопитель, накапливающий электрическую энергию и отдающий ее в нагрузку; разрядный тиристорный коммутатор, подключающий заряженный рабочий накопитель к нагрузке и исключаящий влияние режимов разряда на режимы потребления электрической энергии от питающей сети.



Рисунок 1 – Внешний вид ГИ установки ЭЭД

Для контроля за режимами работы силового блока предусмотрены: вольтметр постоянного напряжения (U опорное), индицирующий величину напряжения на опорной батарее конденсаторов и вольтметр амплитудных значений (U рабочее), индицирующий максимальное напряжение на рабочем накопителе.

Блок управления предназначен для выдачи сигналов управления зарядным и разрядным коммутаторами, определения и индикации рабочей частоты генератора импульсов, оперативного изменения режимов в процессе работы и настройки. В состав блока управления входят задающий генератор, выполненный на основе управляемого мультивибратора, с регулятором и индикатором рабочей частоты; выходные формирователи сигналов управления зарядным и разрядным коммутаторами и блок питания, обеспечивающий работу блока управления.

ГИ работает следующим образом. Задающий генератор вырабатывает тактовые импульсы, частота которых может регулироваться и отображается индикатором рабочей частоты. Из этих импульсов формируются импульсы управления зарядным и разрядным коммутаторами, поступающие на выходные формирователи, которые формируют сигналы управления зарядным и разрядным коммутаторами, соответствующей частоты и амплитуды, а также обеспечивают гальваническую развязку (на основе оптопары) между силовым блоком и блоком управления и помехозащищенность блока управления.

Под воздействием сигналов управления зарядным и разрядным коммутаторами происходит их периодическое включение и выключение, с частотой определяемой задающим генератором. В результате чего, обеспечивается периодический заряд рабочего накопителя от питающей сети и его разряд на нагрузку (межэлектродный промежуток).

В данном ГИ в качестве задающего генератора может использоваться любой другой внешний генератор, а также персональный компьютер (рисунок 1), генерирующий сигналы различной формы, частоты и амплитуды с помощью специальной программы-генератора и установленной звуковой карты.

Основными регулируемыми (изменяемыми) параметрами созданной установки ЭЭД, непосредственно влияющими на процесс порошкообразования, являются напряжение на электродах (U), частота следования импульсов (f), емкость рабочего накопителя (C), а также расстояние между электродами (l).

При проведении экспериментов по диспергированию отходов спеченных твердых сплавов расстояние между электродами в реакторе оставалось постоянным и составляло 100 мм, напряжение на электродах изменяли от 0 до 200 В, частоту следования импульсов — от 0 до 700 Гц, емкость рабочего накопителя — от 2,5 до 40 мкФ. В качестве рабочих жидкостей использовали воду дистиллированную ГОСТ 6709–72. В качестве исходного (диспергируемого) материала использовали отработавшие многогранные неперетачиваемые пластины (рисунок 2) из среднезернистых спеченных твердых сплавов марки ВК8, состоящих из карбида вольфрама (92 %) и кобальта (8 %). В качестве электродов также использовали отработавшие неперетачиваемые пластины из соответствующих марок спеченных твердых сплавов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Твердый сплав, используемый при ЭЭД
а) гранулы; б) электроды

Для определения структуры частиц полученного порошка была отобрана проба для исследования на атомно-силовом микроскопе AIST-NT. В результате было установлено, что размер структурных составляющих частиц, полученных из отходов твердых сплавов марки ВК8 методом электроэрозионного диспергирования в дистиллированной воде, от 10 нм (рисунок 3).

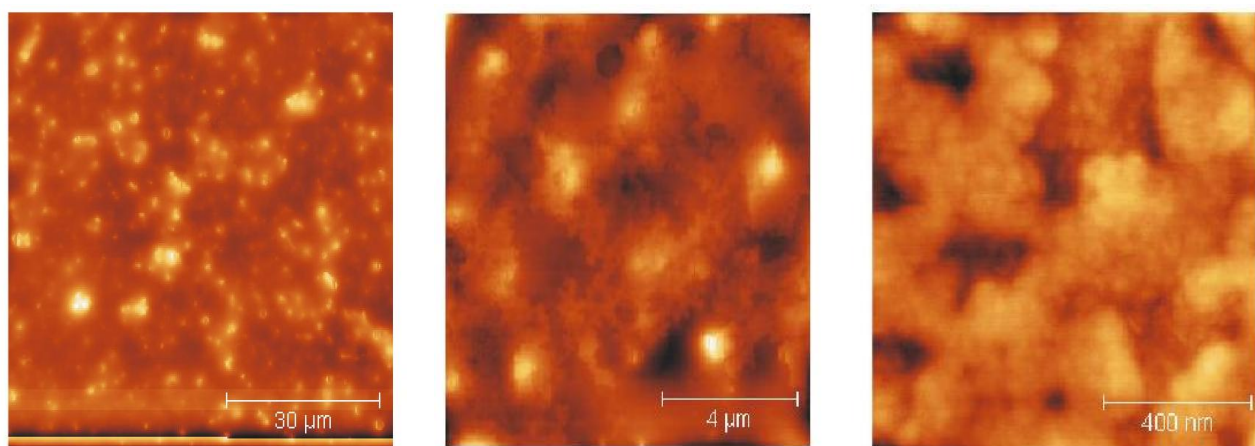


Рисунок 3 – Наноструктура частиц порошков на основе системы WC-Co

Таким образом, проведенные исследования позволили осуществить выбор эффективного метода переработки отходов твердых сплавов марки ВК8 с получением наноструктурных частиц и разработать устройство для практического его осуществления. Разработанная и созданная установка позволит провести аттестацию конечных продуктов и разработать технологические рекомендации по их дальнейшему использованию в технологических процессах восстановления и упрочнения деталей машин и т.п.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по проблеме «Получение порошковых материалов из отходов спеченных твердых сплавов, их аттестация и применение в технологиях восстановления и упрочнения деталей машин» (гос. регистр. № П601).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, Е.В. Выбор метода получения порошковых материалов из отходов спеченных твердых сплавов / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара: Изд-во Самарского науч. ц-ра РАН, 2009. – Спец. вып.: Актуальные проблемы машиностроения. – С. 12–15.
2. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Перспективный метод переработки отходов спеченных твердых сплавов / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Р.А. Латыпов // Экономика природопользования и природоохраны: сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2009. – С. 58–62.
3. Агеев, Е.В. Утилизация отходов твердого сплава методом электроэрозионного диспергирования / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Современная техника и технологии: сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф. в 2 т. – Т. 2 – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2009. – С. 7–8.
4. А. с. 70000 СССР, В 22f, 09/00 Способ получения порошков и устройство для его осуществления / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко (СССР). - № 1371/321510; заявл. 01.04.1943; опубл. 23.09.1964, Бюл. № 22. – 2с.
5. Лазаренко, Б.Р. Электрическая эрозия металлов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко. – Л.: Госэнергоиздат, 1944. – 28 с.

Агеев Евгений Викторович

Курский государственный технический университет, г. Курск
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование»
Тел. 8-904-526-55-07
E-mail: ageev_ev@mail.ru

Семенихин Борис Анатольевич

Курский государственный технический университет, г. Курск
Старший преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование»
Тел. 8-903-633-75-62
E-mail: boriss@bk.ru

Латыпов Рашит Абдулхакович

Московский государственный вечерний металлургический институт, г. Москва
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Металлургия сварочных процессов»
Тел. (499) 267-58-10
E-mail: latipov46@mail.ru

УДК 620.193.16.004.624

Е.Г. БЕРДИЧЕВСКИЙ

МОДИФИКАТОРЫ ТРЕНИЯ КАК ОСНОВА СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

Рассмотрена эффективность различных модификаторов трения к смазочным материалам для пластической деформации металлов. Предложены новые модификаторы на основе наночастиц углерода и термически разлагающихся продуктов, существенно повышающих износостойкость инструмента.

Ключевые слова: трение, смазка, металлообработка, износ, трибология.

Efficiency of various modifiers of a friction to lubricants for plastic deformation of metal is considered. New modifiers on a basic halocarbons and thermally decaying products essentially raising wear resistance of the tool are offered.

Key words: a friction, greasing, metal working, deterioration, tribology.

В процессах пластического формообразования существенная роль принадлежит технологическим смазочным материалам (ТСМ), призванных смягчить экстремальные условия граничного трения между инструментом и заготовкой. В ряде случаев без ТСМ процессы пластического деформирования вообще нереализуемы из-за схватывания материалов инструмента и обрабатываемого изделия [1]. Достижения в области трибологии, а также успехи технической химии в создании новых функциональных материалов позволили разработать ТСМ нового поколения, основанные на использовании так называемых модификаторов трения. К модификаторам трения относят компоненты ТСМ, радикально изменяющих трибологическую ситуацию в зоне фрикционного контакта путем образования между трущимися поверхностями тонких и субтонких пленочных структур, оказывающих разделяющее, экранирующее, антифрикционное и противоизносное действие.

Общепризнано [2,3], что зону активного фрикционного контакта условно можно разделить на три масштабных уровня: макро, мезо и микро. Несмотря на то, что граница между уровнями размыта, для каждого уровня можно выделить характерные физико-химические механизмы контактного взаимодействия.

Таблица 1 – Основные трибологические свойства ТСМ, проявляемые на разных масштабных уровнях

Уровень	Индивидуальные свойства	Контактные свойства
макро	Плотность, вязкость, поверхностное натяжение, рН и электропроводность (для водных растворов), диэлектрическая постоянная (для масляных растворов), теплофизические свойства	Краевой угол смачивания, растекаемость, толщина исходной смазочной пленки на поверхностях инструмента и заготовки, показатели теплопередачи
мезо	Термостабильность, химический потенциал	Работа адгезии, адсорбционная и хемосорбционная активность, энергия активации образования химически модифицированных слоев
микро	Дисперсность исходных компонентов	Энергия активности наноструктур, параметры кластеров

Из таблицы 1 видно, какие трибологические и физико-технические свойства ТСМ играют решающую роль на каждом из масштабных уровней. Эти свойства разделены на две группы: индивидуальные и контактные. Индивидуальные свойства характеризуют физико-

технические свойства ТСМ, определяемые вне акта трения и металлообработки. Данные свойства зависят только от состава, строения и химической природы смазочного материала. Контактные свойства ТСМ проявляются только на границах трущихся поверхностей в зоне активной пластической деформации.

Современные ТСМ для пластической обработки металлов (штамповка, ковка и др.) являются сложными многокомпонентными продуктами [1]. Поэтому можно предположить, что наилучшей ТСМ является композиция, обеспечивающая трибологический эффект на всех масштабных уровнях. В общем случае ТСМ должны содержать комплекс модификаторов трения, каждый из которых реализует свой трибологический потенциал на определенных участках зоны фрикционного контакта.

В НовГУ изучены модификаторы трения, перспективные для легирования ТСМ, предназначенных для горячей пластической деформации металлов (ковка, горячая штамповка). В настоящее время основными модификаторами для ТСМ в штамповочном производстве являются слоистые продукты, такие как графит и дисульфид молибдена. Смазочные материалы на их основе уже не обеспечивают необходимый уровень износостойкости штамповой оснастки и обладают низкими износостойкими показателями.

Металлоплакирующие модификаторы на основе тонкодисперсионных металлов, положительно проявившие себя в некоторых узлах трения [2], оказались малопригодными в технологических процессах, основанных на пластической деформации. Нам не удалось обнаружить проявление эффекта избирательного переноса при трении, который наблюдался при легких режимах скольжения [3].

Сводная характеристика модификаторов трения, потенциально пригодных в качестве компонентов смазочных материалов, приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Модификаторы для тяжелых режимов граничного трения

№ п/п	Название модификатора	Механизм действия	Основные компоненты	Уровень трибологической эффективности
1	Слоистые модификаторы	Образование между поверхностями трения слоистых (ламеллярных) структур с низким сопротивлением тангенциальным напряжением	Графит, дисульфид молибдена, тонкодисперсные керамические порошки	Макро, мезо
2	Металлоплакирующие модификаторы	Реализация эффекта избирательного переноса	Тонкие порошки металлов, окислов металлов	макро
3	Пиромодификаторы	Образование в зоне трения за счет термического разложения (пиролиза) твердосмазочных и летучих компонентов	Органические легковыгораемые продукты (древесина, целлюлоза и др.)	Макро, мезо
4	Наномодификаторы	Образование на поверхности трения наноструктур, использование наноэффектов	Наночастицы углерода (фуллерены, фуллереновая сажа и чернь и др.)	микро

Наибольший интерес представляют пиромодификаторы и наномодификаторы трения, перспективы которых в качестве компонентов ТСМ в металлообрабатывающем производстве не изучались.

К пиромодификаторам относятся вещества, склонные к пиролизу в зоне обработки металлов давлением. В результате пиролиза выделяются летучие вещества, которые могут оказывать как газостатическое действие, так и доносить образующиеся в результате деструкции обрывки молекулярных цепей на труднодоступные участки зоны трения. Результатом пиролиза является также образование в зоне трения твердой смолообразной пленки, которая может оказывать противоизносное противозадирное и разделяющее действие.

Наномодификаторы трения успешно проявили себя в качестве компонентов смазочных материалов для двигателей внутреннего сгорания, для зубчатых передач. Возможность их использования в техпроцессах обработки давлением не рассматривалась.

Для оценки возможности создания инновационных ТСМ были разработаны и испытаны модельные композиции на основе пиромодификаторов трения, наномодификаторов и их сочетаний. Испытания проводились на четырехшариковой машине трения по стандартной методике [4]. Показано [5], что по результатам таких испытаний можно сделать достаточно надежный прогноз надежности штампов для горячей штамповки.

В качестве пиромодификатора использовалась микрокристаллическая целлюлоза, в качестве наномодификатора – фуллереновая сажа и фуллереновая чернь. В качестве базовой основы применялось минеральное масло ИС-20. В качестве модификаторов трения изучались нанокристаллы углерода, выпускаемые ООО «Научно-производственная компания НеоТекПродакт» (г. Санкт-Петербург). Дополнительно привлекались твердые присадки ламеллярной структуры (графит, дисульфид молибдена) и промышленные химически-активные присадки, содержащие активный хлор (ХП-40) и активный фосфор (ДФ-11). На четырехшариковой машине трения фиксировались такие показатели, как нагрузка начала заедания шаров P_k , предельная несущая способность смазочной пленки P_c , диаметр пятна износа шаров при нагрузке P_k и коэффициент трения. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты трибологических испытаний ТСМ с модификаторами трения

№ п/п	Смазочные композиции	Трибологические параметры			
		P_k , Н	P_c , Н	Диаметр пятна износа, мм	Коэффициент трения
1	Масло ИС-20+2% Коллоидного графита	350	510	4,3	0,23
2	Масло ИС-20+2% микроцеллюлозы	346	605	3,7	0,17
3	Масло ИС-20+2% коллоидного графита + 2% микроцеллюлозы	360	622	2,9	0,22
4	Масло ИС-20+3% фуллереновой сажи	530	820	3,9	0,24
5	Масло ИС-20+3% Фуллереновой черни	500	890	2,8	0,22
6	Масло ИС-20+3% Фуллереновой черни +3% дисульфида молибдена	610	960	1,7	0,18

Анализ результатов показывает, что пиромодификаторы трения незначительно влияют на нагрузку начала заедания шаров P_k и на коэффициент трения, но существенно влияют на предельную несущую способность смазочной пленки и диаметр пятна износа. Можно заключить, что пиромодификаторы срабатывают в момент разрушения смазочной пленки, ко-

гда происходит катастрофическое разрушение и схватывание поверхностей трения и, соответственно, значительно возрастает контактная температура. Пиромодификаторы буквально «обрывают» процесс заедания и сваривания поверхностей трения.

Наномодификаторы показали очень высокую трибологическую эффективность. Наблюдается ярко выраженный синергетический эффект при одновременном использовании нанопродукта и дисульфида молибдена. Синергетическое взаимодействие графита и микроцеллюлозы выражено слабее. Заметное улучшение антифрикционных свойств композиций наблюдалось только при сочетании наномодификаторов с дисульфидом молибдена.

Выводы

- 1) Пиро- и наномодификаторы трения могут явиться основой разработки инновационных технологических смазочных материалов для обработки металлов давлением.
- 2) Традиционные модификаторы трения могут вступать в синергетическое взаимодействие с новыми перспективными модификаторами.
- 3) Наибольшую трибологическую эффективность в процессах пластической деформации обеспечивают нанополноценные наномодификаторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский, Е.Г. смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов / Е.Г. Бердичевский. – М.: Машиностроением, 1984. – 224с.
2. Погодаев, Л.И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин. – СПб.: АТРФ, 2006. – 608с.
3. Мышкин, Н.К. Трение, смазка, износ / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: Физматгиз, 2007. – 368с.
4. ГОСТ 9490-75: Метод определения смазывающих свойств на четырехшариковой машине трения.
5. Бердичевский, Е.Г. Прогнозирование влияния смазочных сред на показатели надежности процессов горячей штамповки / Е.Г. Бердичевский // Трибология и надежность №9: Сб. науч. тр. 9-й Международной конференции. – СПб.: Петербургского гос. Ун-т путей сообщения, 2009. – С.329-333.

Бердичевский Евсей Григорьевич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород
Кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой «Художественная и пластическая обработка материалов»
Тел. 8(816-2) 62-66-14
E-mail: bersev@mail.ru

УДК 620.172.224.2

Е.С. ЛУКИН, А.М. ИВАНОВ

ПРОЧНОСТЬ И ДИССИПАЦИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Представлены результаты исследования прочности и диссипации энергии при пластической деформации стали, подвергнутой комбинированной термомеханической обработке (всесторонняя ковка и равноканальное угловое прессование (РКУП)).

Ключевые слова: сталь, прочность, деформация, диссипация энергии, ковка, равноканальное угловое прессование, термопластическая обработка, закалка, температура, теплота, образец.

The results of research of strength and dissipation energy during plastic deformation of steel subjected thermomechanical processing (comprehensive forging and equal channel angular pressing (ECAP)) are presented.

Key words: steel, strength, deformation, energy dissipation, forging, equal channel angular pressing, thermoplastic processing, tempering, temperature, heat, a specimen.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эффективное использование конструкционных сталей в различных металлоконструкциях зависит от их прочности и энергоемкости. В свою очередь энергоемкость материала зависит от поглощенной энергии, энергии искажения кристаллической решетки и энергии разрушения. Вместе с тем применение новых материалов и сталей, подвергнутых термомеханической обработке, также требует оценки этих характеристик. Поглощенную в процессе пластического течения материала энергию можно определить с помощью разработанной экспериментально-расчетной методики [1].

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений материаловедения является разработка новых материалов. Для улучшения физико-механических свойств металлов и их сплавов используются различные методы, в том числе методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Сочетание методов ИПД и термической обработки позволяет улучшить служебные характеристики материалов. Существуют различные методы ИПД: кручение под высоким давлением, равноканальное угловое прессование, всесторонняя ковка и др. Одним из методов ИПД, позволяющим получить объемные образцы с ультрамелкозернистой структурой, является равноканальное угловое прессование. Метод РКУП, реализующий деформацию массивных образцов простым сдвигом, был разработан В.М. Сегалом с сотрудниками в 70-х годах 20-го века [2]. В начале 90-х годов прошлого столетия Р.З. Валиевым с коллегами данный способ был развит и впервые применен как метод ИПД для получения структур с субмикроструктурным и нанометрическим размером зерен [3]. Способ РКУП реализует деформацию массивных образцов простым сдвигом без изменения поперечного сечения образцов. В месте пересечения каналов реализуется сдвиговая деформация материала, приводящая к измельчению зеренной структуры материала.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования - конструкционная малоуглеродистая низколегированная сталь 09Г2С. Химический анализ исследуемой стали, проведенный на атомно-эмиссионном спектрометре «Foundry-Master» фирмы «Worldwide Analytical Systems AG (WAS AG)», показал, что сталь содержит: 0,12 % С, 0,8 % Si, 1,7 % Mn, 0,3 % Cr, 0,3 % Ni, и 0,3 % Cu, остальное Fe. По данным металлографического исследования, проведенного на сканирующем электронном микроскопе, установлено, что сталь 09Г2С имеет ферритно-перлитную структуру со средним размером зерна 18,5 мкм. Механические испытания стандартных гладких образцов из стали 09Г2С в исходном состоянии, проведенные на разрывной машине «UTS-20k при

скорости нагружения $8,33 \times 10^{-5} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, показали, что предел текучести и предел прочности составляют 330 МПа и 460 МПа, соответственно.

ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Цилиндрические заготовки из стали 09Г2С размером $\varnothing 20 \times 100$ мм были подвергнуты комбинированной обработке: всесторонняя ковка при температуре 1173-1023 К в три цикла, закалка в воде от 1203 К и РКУП по маршруту В_с в n=4 прохода при температуре 723 К. Здесь температура начала ковки соответствует 1173 К, а окончания – 1023 К. При реализации РКУП использован пресс ПСУ-125 с максимальным усилием до 1250 кН. Угол пересечения каналов в пресс-форме оснастки составляет 120°. Предварительная закалка позволяет получить более мелкозернистую структуру при реализации РКУП.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ

С целью исследования характеристик пластичности упрочняемой стали, была разработана методика, позволяющая оценить поглощенную в процессе пластического течения материала энергию [1]. Сущность методики заключается в следующем. Внешняя работа dA_p , затрачиваемая на пластическую деформацию образца при растяжении, частично рассеивается в виде теплоты dQ (термопластический эффект), а другая часть поглощается материалом dE_S и ассоциируется в основном с изменениями дислокационной структуры. Таким образом, в соответствии с первым началом термодинамики энергия, поглощенная материалом dE_S в процессе пластической деформации, может быть выражена следующим соотношением [4]

$$dE_S = dA_p - dQ. \quad (1)$$

Энергия, поглощенная материалом dE_S , отражает все необратимые структурные изменения, произошедшие в материале, и отражает способность материала сопротивляться хрупкому разрушению.

Механическая работа, затраченная на пластическую деформацию, может быть определена из условной диаграммы деформирования. Теплота, выделяющаяся в процессе пластической деформации, может быть оценена при помощи калориметра [5]. Однако, калориметрический метод обладает существенной инерционностью, что увеличивает погрешность проводимых расчетов [5]. Теплота, выделяющаяся при пластической деформации, может быть оценена при помощи ИК-камеры [1, 6].

В настоящей работе оценка теплоты, выделившейся в процессе пластического деформирования, проводилась при помощи тепловизионной системы «ТКВр-ИФП».

Оценка поглощенной энергии проводилось на плоских гладких образцах с размерами рабочей части $50 \times 5,5 \times 2,5$ мм, изготовленных из стали 09Г2С в состоянии поставки и подвергнутых различным типам термомеханической обработки. Статическое растяжение образцов проводилось на разрывной испытательной машине UTS-20k при постоянной скорости деформации, равной $2,4 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Измерение изменения поверхностной температуры при помощи тепловизионной системы проводилось параллельно с записью машинной диаграммы деформирования образца. Условная диаграмма деформирования образца из стали 09Г2С в состоянии поставки, совмещенная с кривой изменения температуры, представлены на рисунке 1, где 1 – нагрузка, а 2 – изменение температуры полученное при помощи тепловизионной системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытания на статическое растяжение плоских гладких образцов размерами $30 \times 4,0 \times 1,15$ мм были проведены на разрывной машине “UTS–20k” при постоянной скорости нагружения $8,33 \times 10^{-2} \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ в условиях комнатной температуры. На рисунке 2 приведена условная диаграмма деформирования стали 09Г2С, подвергнутой термомеханической обработке по типу «ковка + закалка + РКУП».

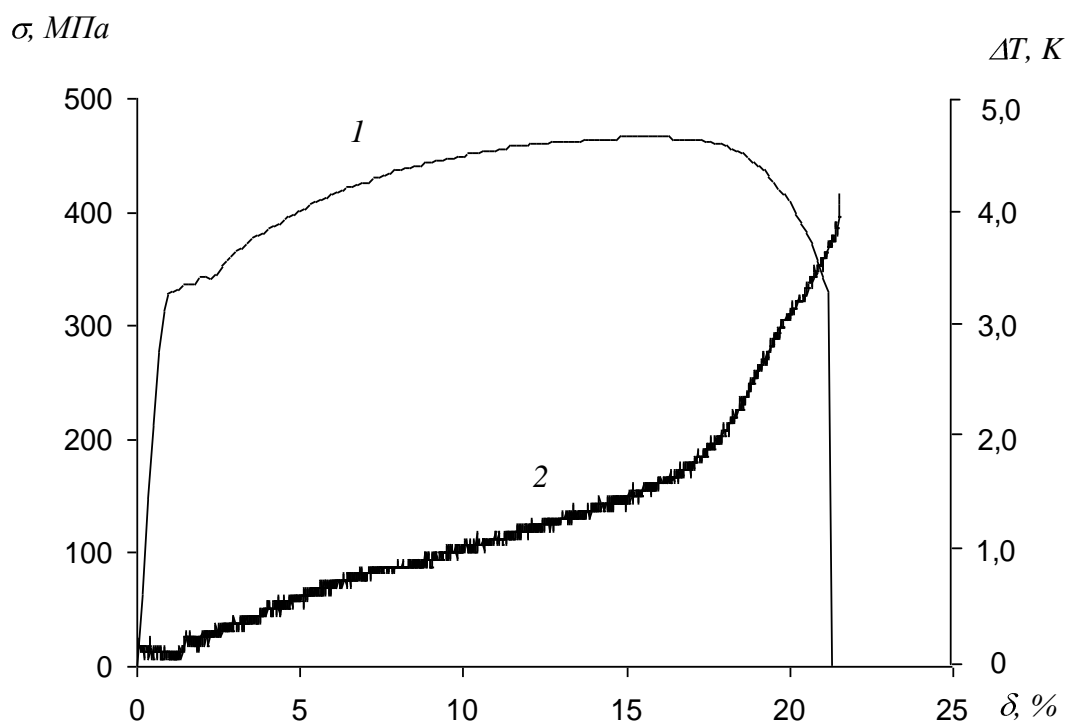


Рисунок 1 – Диаграмма растяжения и изменение температуры образца из стали 09Г2С
1 – изменение номинального напряжения; 2 – изменение температуры

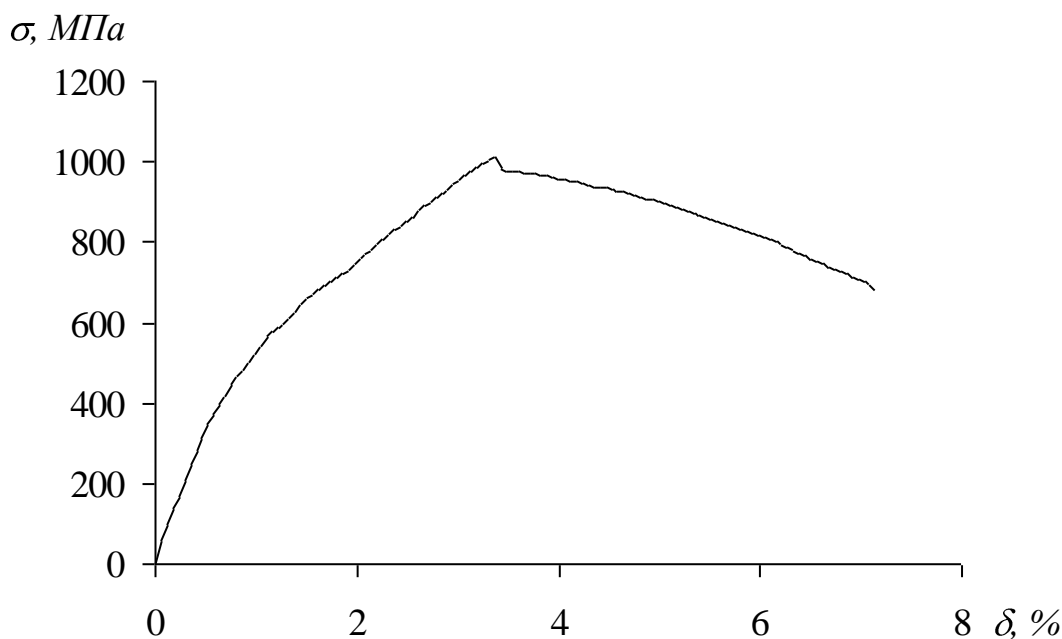


Рисунок 2 – Диаграмма деформирования стали 09Г2С, подвергнутой ковке
при $T=1173 \pm 1023$ К в три цикла, закалке в воде от $T=1203$ К и РКУП (B_c , $T=723$ К и $n=4$)

В таблице 1 приведены механические характеристики исследуемой стали для исходного состояния и после термомеханической обработки.

Как видно из рисунка 2, предел текучести стали 09Г2С после термомеханической обработки с РКУП существенно возрос в сравнении с исходным состоянием и составляет 1045 МПа. Также более чем в 3-4 раза увеличилась область упругих деформаций стали 09Г2С и достигает 3,5 %. Однако, существенно уменьшилась доля пластической деформации и составляет всего лишь 3÷5 % от общего удлинения образца. Данное обстоятельство указывает на тот факт, что малоуглеродистая сталь, подвергнутая термомеханической обработке и РКУП, обладает высокими характеристиками прочности, но вместе с тем низкой пластичностью.

Таблица 1 – Механические характеристики стали 09Г2С в состоянии поставки и подвергнутой термомеханической обработке

№	Состояние материала	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %
1	Исходное состояние – состояние поставки	337	462	24,4
2	Ковка + закалка + РКУП	1045	1045	7,5

На рисунке 3 представлены удельные значения работы пластических деформаций, поглощенной энергии и теплоты для стали 09Г2С в исходном состоянии. Как видно из рисунка, до 40 % работы пластических деформаций рассеивается в окружающую среду в виде теплоты. Остальная часть работы пластических деформаций - поглощается материалом.

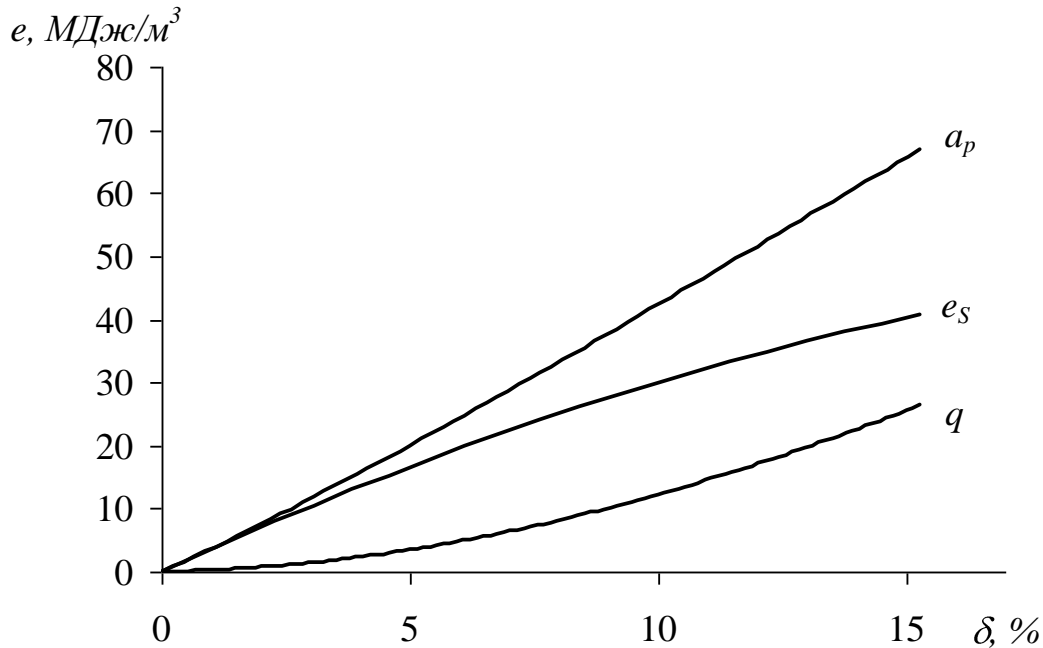


Рисунок 3 – Зависимость удельных значений работы пластических деформаций a_p , поглощенной энергии e_s и выделившейся теплоты q при пластической деформации стали 09Г2С от удлинения

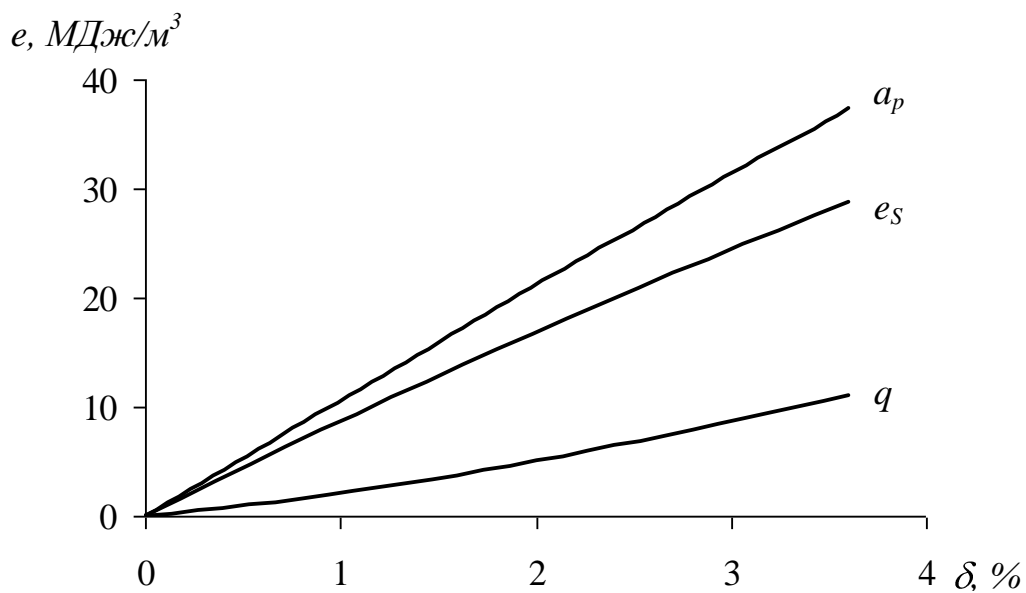


Рисунок 4 – Зависимость удельных значений работы пластических деформаций a_p , поглощенной энергии e_s и выделившейся теплоты q при пластической деформации стали 09Г2С, подвергнутой ковке, закалке и РКУП, от удлинения

В свою очередь несколько иначе выглядят графики для стали 09Г2С, подвергнутой термомеханической обработке. На рисунке 4 представлены удельные значения работы пластических деформаций, поглощенной энергии и теплоты для стали, прошедшей ковку, закалку и РКУП. Как видно из рисунка 4, теплота, рассеиваемая в процессе пластического течения упрочненной методом РКУП стали, составляет всего лишь 15-20 % от работы пластических деформаций. Это свидетельствует о том, что большая часть совершенной работы, поглощается материалом. Вероятнее всего, способность стали, упрочненной методом РКУП, эффективнее поглощать энергию, позволяет достичь высоких характеристик прочности.

Из рисунков видно, что поглощенная энергия в единицу деформации (удлинения) для стали 09Г2С, упрочненной РКУП, составляет $\approx 7,8$ МДж/м³, в то время как в исходном состоянии – составляет всего лишь $\approx 2,5$ МДж/м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение равноканального углового прессования позволяет повысить прочностные характеристики стали за счет измельчения зеренной структуры и увеличения плотности дислокаций. К примеру, предел текучести стали после РКУП возрастает в 3 раза в сравнении с исходным состоянием. Применение механической обработки, такой как ковка, также приводит к повышению прочностных характеристик материала.

Решение обратной задачи теплопроводности с постоянными коэффициентами, позволяет оценить количество теплоты, выделившееся в результате термопластического эффекта. Разработанная расчетно-экспериментальная методика более предпочтительна, чем калориметрический метод, обладающий значительной инерционностью [5] и метод нагрева металла электрическим током, предложенный Е.А. Pieczyska, S.P. Gadaj, W.K. Nowacki [6].

Показано, что сталь, подвергнутая РКУП, способна более эффективно поглощать энергию пластических деформаций. С другой стороны, количество теплоты, выделяющаяся в результате термопластического эффекта, связана с пластичностью материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Грант № 09-01-98507.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivanov, A.M. Investigation of the stored energy change of steel Fe360 subjected to equal-channel angular pressing / A.M. Ivanov, E.S. Lukin // *Materials Science and Engineering A*. – V. 503. – Nos. 1-2. – 15 March 2009. – pp. 45-47.
2. Сегал, В.М. Процессы пластического структурообразования металлов / В.М. Сегал, В.И. Резников, В.И. Копылов, Д.А. Павлик, В.Ф. Малышев. – Минск: Навука і тэхніка, 1994. - 231 с.
3. Валиев, Р.З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: ТКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
4. Taylor G.I., Quinney H. The latent energy remaining in a metal after cold working // *Proc. Roy. Soc.*, 1934. – Vol. CXLIII. – A. – pp. 307-326.
5. Астафьев, И.В. Восстановление калориметрических термограмм в экспериментах по изучению тепловыделения и запаса энергии при деформировании / И.В. Астафьев, О.П. Максимкин // *Заводская лаборатория*. – 1994. – № 1. – С. 44-46.
6. Pieczyska E.A., Gadaj S.P., Nowacki W.K., *Proc. Eurotherm Seminar No. 64 "Quantitative infrared thermography 5"*, QIRT'2000, Reims, France, 2000, pp. 260-264.

Лукин Евгений Савич

Учреждение РАН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН», г. Якутск
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Тел. (4112) 390575
E-mail: lukin@iptpn.ysn.ru

Иванов Афанасий Михайлович

Учреждение РАН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН», г. Якутск
Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Тел. (4112) 390579
E-mail: a.m.ivanov@iptpn.ysn.ru

В.Р. ТЫРС, С.В. КОСАРЕВСКИЙ

ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ХРАНЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПЛАНОВ КОНТРОЛЯ НА СОВРЕМЕННЫХ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

В данной статье предложен подход к решению проблемы систематизации и хранения, который устанавливает базовые принципы и рекомендации для хранения в электронном виде планов контроля и результатов измерений деталей, выполненных с использованием координатно-измерительной машины (КИМ).

Ключевые слова: план контроля, электронный вид, координатно-измерительная машина.

In given article the approach to the decision of a problem of ordering and storage which establishes base principles and recommendations for storage in an electronic kind of plans of the control and results of measurements of the details executed with use of coordinate-measuring machine (KMM) is offered.

Key words: the plan of the control, an electronic kind, the coordinate-measuring machine.

ВВЕДЕНИЕ

Поскольку объём измерения деталей на координатно-измерительной машине на машиностроительных предприятиях за последнее время значительно возрос, в том числе и объём измерения одинаковых и однотипных деталей (например, гладкие и резьбовые калибры, различные оправки). Поиск ранее выполненных измерений при «стихийном» и неорганизованном способе хранения результатов затруднителен, а в иных случаях невозможен, что приводит к утрате результатов выполненных ранее измерений и требует повторного выполнения уже проделанной работы.

Предлагаемый подход ориентирован на программное обеспечение (ПО) для КИМ Calypso фирмы Carl Zeiss и пригоден для использования с любыми КИМ работающими с данным программным обеспечением. На момент написания статьи использовалась версия Calypso 4.6, но предложенные принципы в полной мере применимы к версии 4.8 и, возможно, к более поздним.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

План контроля - последовательность действий (программа) для ПО Calypso, описывающая процесс измерения детали по чертежу. Представляет из себя папку на диске компьютера. Термин берёт начало из руководства по эксплуатации программного обеспечения Calypso [1].

Непараметризованный план контроля - план контроля, по которому выполняется измерение детали согласно одному чертежу.

Параметризованный план контроля [2] - план контроля, измеряющий сходные по конструкции детали, отличающиеся между собой размерами и выполненные по различным чертежам. Для работы требует от оператора ввода фактической информации о размерах с чертежа конкретной детали.

Результаты измерения - план контроля содержащий в себе данные, полученные в результате измерения геометрических параметров конкретной детали.

Хранение планов контроля - размещение планов контроля на персональном компьютере таким образом, чтобы обеспечивался поиск и идентификация нужного плана контроля по данным с чертежа детали, а так же резервное копирование планов контроля с целью предотвращения их случайного непреднамеренного изменения оператором.

Хранение результатов измерений - размещение результатов измерений на персональном компьютере таким образом, чтобы обеспечивался поиск и идентификация нужного плана контроля по данным с чертежа и индивидуальному номеру детали.

РАЗРАБОТКА И ИМЕНОВАНИЕ ПЛАНОВ КОНТРОЛЯ

В названия непараметризованных планов контроля следует включать номер чертежа измеряемой детали. Кроме того, по усмотрению оператора, можно дополнительно указывать текстовый комментарий или название детали.

Для параметризованного плана контроля в названии указываются номера всех чертежей, детали изготовленные в соответствии с которыми можно измерять с помощью данного плана контроля. Допускается указывать только в имени параметризованного плана контроля только название детали и словами «Общий» или «Generic» (например: «Калибр M170x6 (общий)», «Gauge M170x6 (generic)»). При этом в комментариях к плану контроля необходимо дать перечень всех чертежей, детали изготовленные в соответствии с которыми можно измерять с помощью данного плана контроля.

ХРАНЕНИЕ ПЛАНОВ КОНТРОЛЯ

Хранение непараметризованных планов контроля осуществляется на хронологической основе. То есть все планы контроля распределяются по папкам, имена которых отражают временные промежутки, в период которых были разработаны помещённые в них планы контроля (например: «2007 год», «Январь 2007», «II-квартал 2007» и т.п.).

ХРАНЕНИЕ АННОТАЦИЙ

При хранении результатов измерений к каждому результату (или к группе результатов) целесообразно прилагать карточку с аннотацией (возможно как в электронном виде, например, в формате PDF, так и в отпечатанном), которая прикрепляется к диску с записанным планом контроля. В аннотации необходимо указать следующую информацию:

- Номер чертежа объекта измерения.
- Наименование объекта измерения.
- Дату проведения измерений.
- Тип КИМ, версию ПО (при наличии нескольких).
- Индивидуальный номер КИМ.
- Номер и срок годности свидетельства о поверке.
- Погрешность измерений (MPE_E [3] или конкретную для данного измерения, если есть).
- Параметры окружающей среды (температура, коэффициент температурного расширения материала детали, указать приведены ли результаты измерений к $20^{\circ}C$).
- Схему закрепления детали или фото (при необходимости, в случае нетривиального способа закрепления).
- Схему щуповой конфигурации, описание или фото (при использовании сложной многощуповой конфигурации).
- Метод измерения для определения каждой характеристики.
- Стратегию ощупывания элементов (в случае применения сложных методов, например, самоцентрирования).
- Описание используемой системы координат.
- Для каждого измеряемого геометрического элемента указать тип присоединенного полного элемента [4] (точка, окружность, плоскость, конус и т.п.) и метод расчёта (метод наименьших квадратов отклонений, максимальный вписанный элемент, минимальный описанный элемент и т.п.).

Для сложных или уникальных деталей рекомендуется давать развёрнутые текстовые комментарии и приводить фотографию детали.

РЕДАКТИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Иногда возникают случаи, когда требуется отредактировать результаты измерений, например: в случае необходимости определения дополнительных параметров, в случае замены метода расчёта (перерасчёт) и т.п. Прежде чем выполнять такие изменения

необходимо скопировать изменяемый план контроля с результатами измерений под новым именем. К имени плана контроля следует добавить слова «Изменён» или «*Modified*» с указанием даты или причины изменения. Например: «2.502.14 Калибр-пробка специальный (изменён 22.11.2007)». Не следует проводить какие-либо изменения над оригинальными планами контроля с сохранёнными результатами измерений. Это может привести к тому, что вычисленные по изменённому методу результаты будут отличаться от ранее полученных, что сделает невозможным возврат к первоначальным значениям в будущем (Возможна, например, ситуация, когда первоначальные результаты измерений [5] уже были отданы заказчику).

ВЫВОДЫ

Предложенные практические меры по систематизации хранения планов контроля для КИМ и результатов измерений позволят частично решить проблему «стихийного» хранения данных на рабочем месте оператора КИМ и повысить производительность работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Calypso Metrology Software. User Guide. Rev.4.0, Carl Zeiss IMT GmbH, 2004.
2. Зубарев, Ю.М. Автоматизация технических измерений с помощью параметрического программирования / Ю.М. Зубарев, В.В. Лудыков, С.В. Косаревский // Технология машиностроения. – 2009. - №5. – С. 31-34.
3. ISO 10360-2:2001. Geometrical Product Specifications (GPS). Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM). Part 2. CMMs used for measuring size.
4. ГОСТ 31254-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения.
5. ГОСТ 7.32-2001. Правила оформления отчёта.

Тырс Вячеслав Райнович

Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ), г. Санкт-Петербург
Аспирант кафедры «Технология машиностроения»
Тел. (931) 244-15-38
E-mail: v.t@inbox.ru

Косаревский Сергей Владимирович

Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ), г. Санкт-Петербург
Кандидат технических наук, ассистент кафедры «Технология машиностроения»
Тел. (812) 948-58-11
E-mail: kosarevsky@mail.ru

Л.А. РЫБАК, Е.В. ГАПОНЕНКО, Н.Н. ЧЕРКАШИН

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА-СТАНКА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В данной статье предложена общая структура блока управления станком с «параллельной» кинематикой, у которого все координаты связаны, и перемещение по любой одной координате требует одновременного согласованного изменения всех других. Для решения прямой задачи кинематики обосновывается необходимость применения нейронных сетей. В качестве метода обучения рекомендуется применять комбинированный метод обратного распространения ошибки и отжига. Приведены сравнительные характеристики работы НС различной структуры. Выявлено, что применение корректирующих НС является наиболее оптимальным вариантом.

Ключевые слова: механизмы с параллельной структурой; роботы-станки; прямая задача кинематики; обратная задача кинематики; нейронные сети; обратное распространение ошибки.

In this paper offered common structure of control unit for machine-tool with parallel kinematics, in which all coordinate position is coupled, and moving on one coordinate required simultaneous moving on all other. Prove using of neural networks for solving direct kinematic problem. As training method we used combination of back propagation of error and annealing methods. In this paper listed comparative characteristics of several types of neural networks. Recognized that optimal in our case is using of correcting neural networks.

Key words: mechanism with parallel structure; robot-machine tool; direct kinematic problem; inverse kinematic problem; neural networks; back propagation of error.

Наряду с традиционными «последовательными» кинематическими схемами станков, допускающими независимое перемещение узлов по одной из координат при неизменном значении других координат, в последние годы появился новый класс станков с «параллельной» кинематикой, у которых все координаты связаны, и перемещение по любой одной координате требует одновременного согласованного изменения всех других.

Одним из важнейших направлений в разработке и освоении производства инновационных станков является применение мехатронных компонентов, сочетающих в одном конструктиве средства прецизионной механики, электроники, электротехники. Наличие в таких конструкциях встроенных систем автоматического управления и датчиков контроля технологического процесса превращает мехатронные узлы в интеллектуальные модули, на базе которых могут создаваться станки нового поколения традиционной и нетрадиционной компоновок, в том числе с параллельной кинематикой.

Решение задачи о положениях пространственного механизма является базовым начальным этапом определения всей структуры мехатронной системы. Рассмотрим схему пространственного механизма (рисунок 1), где рабочий стол (РС) соединен с основанием через n пар звеньев (штанг). Каждые два звена образуют поступательную кинематическую пару 5 класса. Штанги могут изменять положение рабочего стола относительно неподвижного основания через взаимные перемещения звеньев в поступательных кинематических парах. В [1] эти перемещения названы « l -координатами».

Рассмотрим схему гексапода (рисунок 1). Обозначим центры шарниров на плоскости основания O_1, O_2, O_3, O_4, O_5 и O_6 . Шарниры расположены на отрезках, перпендикулярных высотам равностороннего треугольника на основании и проведены из вершин этого треугольника. Расстояние между основанием и рабочим столом в исходном положении — L . Такое расположение центров шарниров (не в вершинах треугольника) связано с конструктивной необходимостью разнесения пар шарниров, так как штанги имеют продолжение за рабочий стол в виде трубчатых штанг, на концах которых расположены электродвигатели

для привода шариковых винтовых пар. Эти штанги при любом эксплуатационном положении рабочего стола не должны встретиться в пространстве между собой.

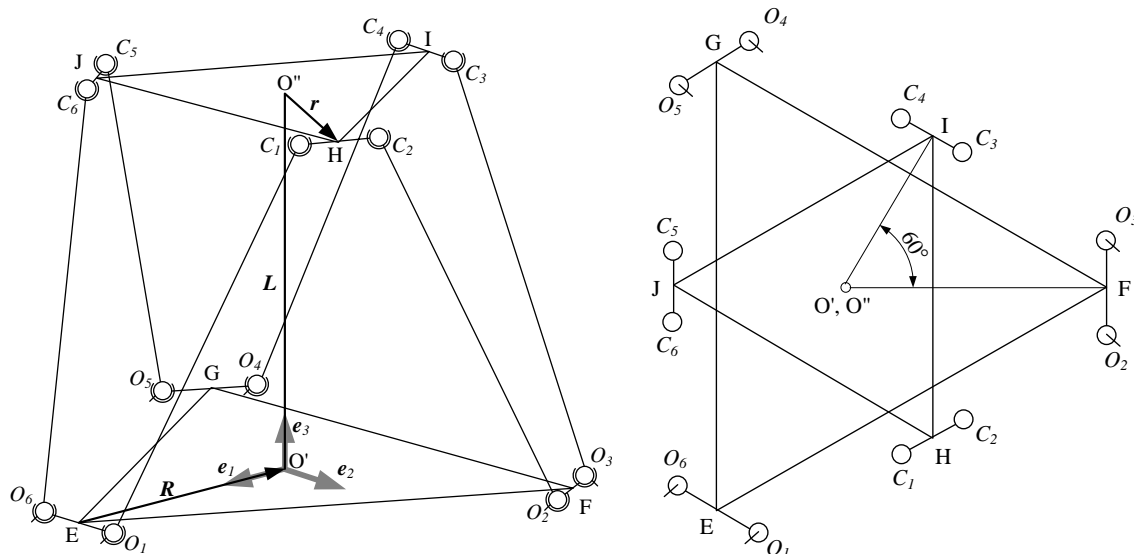


Рисунок 1 – Структура рассматриваемого робота-станка

Рассмотрим прямую задачу кинематики применения параллельной структуры для металлорежущего станка, обрабатывающего детали сложной поверхности. Схематически процесс управления подобным механизмом можно изобразить в виде схемы, приведенной на рисунок 2.

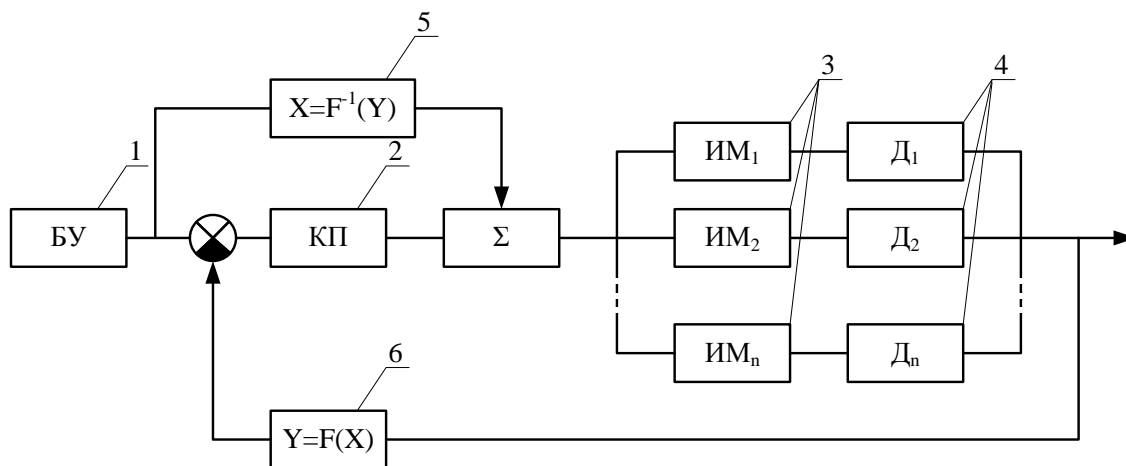


Рисунок 2 – Блок-схема управления механизмом параллельной структуры
 1 – блок управления, 2 – блок, вычисляющий корректировку приводов,
 3 – исполнительный механизм, 4 – датчик, 5 – блок решения обратной задачи кинематики, 6 – блок решения прямой задачи кинематики

Блок управления 1 отвечает за описание поверхности и формирует траекторию движения. В схему внедрена главная обратная связь по результатам обработки поверхности. С датчиков получаем сигнал об удлинении штанг и на основании этих длин блок 6 решает прямую задачу о положении, выдавая таким образом на выходе реальное положение рабочего инструмента. Далее вычисляется погрешность, путем сравнения программного значения управляющего воздействия (желаемого положения РИ) и вычисленного реального значения (полученного в блоке 6). В блоке 2 по величине погрешности вычисляется корректировка длин штанг. В то же время блок 5 находит решения обратной задачи кинематики, а именно определяет длину штанг по управляющему воздействию. Суммируя приращения длин с предыдущим значением получаем управляющее воздействие на исполнительные приводы.

Здесь следует уделить внимание блокам решения прямой и обратной задачи соответственно блоку 6 и 5. Решение обратной задачи может быть сведено к нахождению длин штанг через векторный контур. Применение подобного подхода для решения прямой задачи не представляется возможным. Как один из возможных вариантов можно рассматривать численные методы решения систем нелинейных уравнений. Итерационный метод Ньютона прекрасно справляется с этой задачей, однако он является затратным по времени, а это критично для систем работающих в реальном времени. В связи с этим как альтернатива могут быть рассмотрены более оптимальные по скорости методы решения. Предлагается построить функцию, отвечающую за прямое решение, путем аппроксимации значений полученных из решения обратной задачи. В качестве инструмента аппроксимации функции был выбран аппарат нейронных сетей.

Используем комбинированный алгоритм обучения сети. Коррекция весов в комбинированном алгоритме, использующем обратное распространение и стохастическое обучение, состоит из двух компонент: (1) направленной компоненты, вычисляемой с использованием алгоритма обратного распространения, и (2) случайной компоненты. Коррекция веса вычисляется с использованием представленных ранее уравнений для каждого из алгоритмов:

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \eta(\alpha\Delta w_{ij}(n+1) + (1-\alpha)\Delta w_{ij}(n)) + (1-\eta)x_c$$

где η — коэффициент, управляющий относительными величинами обратного распространения и случайной величиной x_c в компонентах весового шага.

Данные для обучения и тестирования НС, включающие длины штанг и соответствующие им координаты рабочего инструмента, были получены посредством решения обратной задачи кинематики в аналитическом виде. Таким образом, решения ПЗК каким-либо другим методом не требовалось. На вход обучаемой сети подавались тестовые значения длин штанг, на выходе получали декартовы координаты. В качестве варьируемых параметров выступали: количество точек тренировочного набора, изменяемое от 60 для 8000, число скрытых слоев, и число нейронов, составляющих скрытый слой. Число нейронов принималось равным 10 и 60.

Как результат был построен ряд зависимостей, отображающих связь числа нейронов, количества тренировочных точек с ошибкой по положению и времени обучения (рисунок 3, 4). Время затрачиваемое на обучение, сильно зависит от конфигурации используемого компьютера: частоты и разрядности процессора, объема оперативной памяти, поэтому на разных компьютерах будет наблюдаться разный результат.

На рисунке 3 представлено семейство кривых, каждая из которых получена при изменении числа нейронов скрытого слоя для разного числа точек тренировочной выборки (60, 700, 1100, 8000). Из графиков видно, что при достаточном количестве примеров ошибка незначительно уменьшается, с увеличением числа нейронов в скрытом слое. Возрастание ошибки на графиках соответствующих числу точек выборки 60 и 700 объясняется недостаточным их количеством. Таким образом, можно сделать вывод о том, что количество точек тренировочного набора должно превышать количество связей в НС в не менее чем в 5 раз.

Соотношения числа нейронов в скрытом слое и величины ошибки представлены на рисунке 4. Данные зависимости указывают, что при увеличении количества нейронов в сети, величина ошибки изменяется мало, а время обучения сети, напротив значительно возрастает (рисунок 5). Поэтому, выбирая структуру НС, следует ограничиться небольшим числом нейронов скрытого слоя.

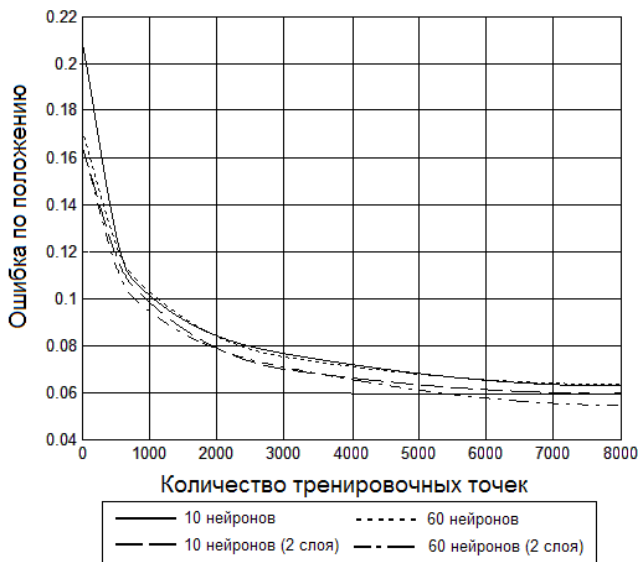


Рисунок 3 – Зависимость ошибки обучения от объема выборки

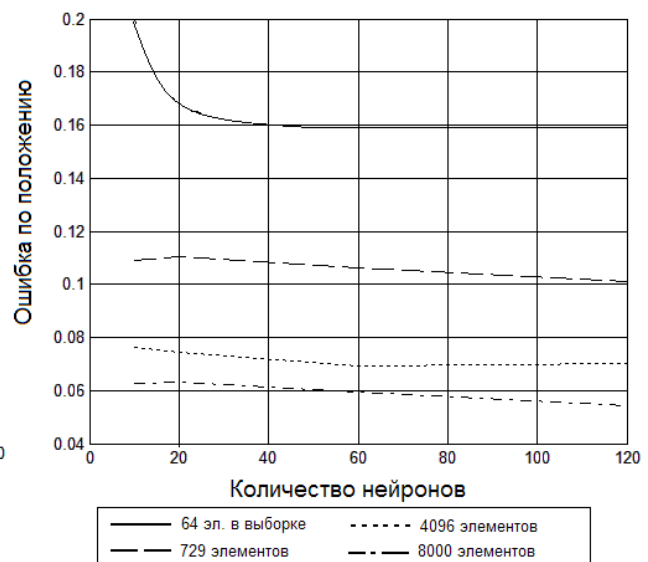


Рисунок 4 – Зависимость ошибки обучения от числа нейронов в скрытом слое

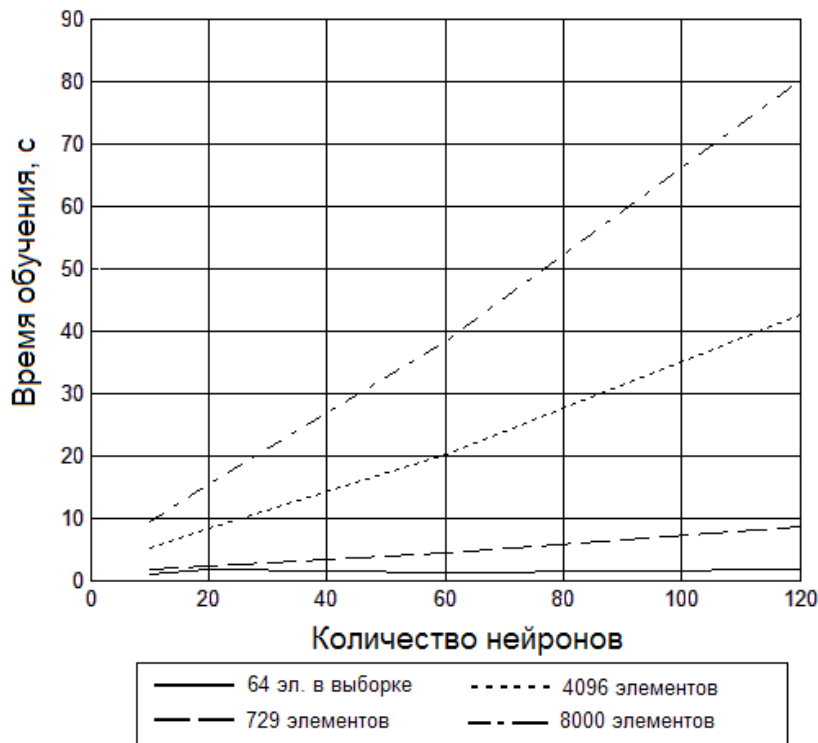


Рисунок 5 – Зависимость времени обучения от числа нейронов в скрытом слое

Для увеличения точности обучения можно создавать цепочку узлов из так называемых корректирующих НС (рисунок 6). Данная сеть будет обучаться на величинах ошибок, полученных при расхождении между результатами работы основной НС и истинными значениями. При этом корректирующая НС не привязана к конкретному диапазону изменения длин штанг, а определяется лишь границами разброса ошибок, полученных в результате работы первой НС. Принцип работы такой цепочки НС сводится к следующему. На вход первой НС подаются значения длин штанг, на выходе получаем приближенное решение ПЗК. Далее полученные приближенные значения подаются на вход корректирующей сети и на выходе получаем более точное решение.

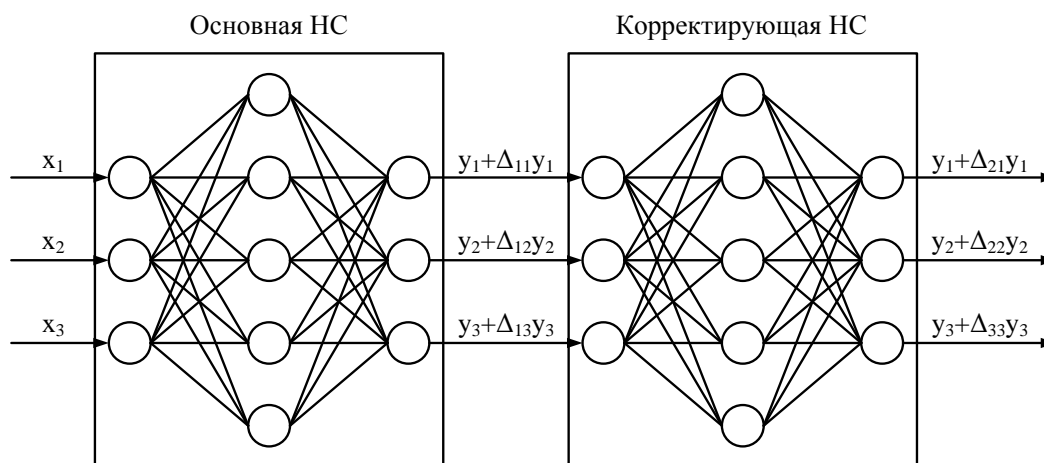


Рисунок 6 – Структура включения корректирующей НС

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-08-01144-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазунов, В.А. Пространственные механизмы параллельной структуры / В.А. Глазунов, А.Ш. Колицор, А.Ф. Крайнев. – М.: Наука, 1991. – 98 с.: ил.
2. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. / Р. Каллан. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 288 с.: ил.
3. Уосерман, Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика: пер. с англ. / Ф. Уосерман. – М.: Мир, 1985. – 294 с.: ил.

Рыбак Лариса Александровна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
 Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»
 Тел. 8 (4722) 552036
 E-mail: rl_bgtu@intbel.ru

Гапоненко Елена Владимировна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
 Аспирантка кафедры «Технология машиностроения»
 Тел. 8 (4722) 552036
 E-mail: lena-gap1987@mail.ru

Черкашин Николай Николаевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
 Студент кафедры «Технология машиностроения»
 Тел. 8 (4722) 552036
 E-mail: Nick11112@yandex.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ИНСТРУМЕНТЫ**

УДК 621.921.8(043)

О.Ю. ЕРЕНКОВ, А.В. ГАВРИЛОВА, Е.Г. КАЛИТА, Д.В. КАРТЕЛЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Статья посвящена исследованиям в области токарной обработки полимерных материалов. В качестве исследуемых материалов использованы термопласты капролон и фторопласт -4. Представлены результаты экспериментальных исследований, анализ которых позволяет установить взаимосвязь между значениями режимов резания заготовок из исследуемых материалов и характером стружкообразования.

Ключевые слова: полимерные материалы, точение, режимы резания, деформация сдвига, коэффициент усадки.

This work is devoted to researching of turning process of plastics. The thermo-softening polymeric materials such as Teflon and Kaprolon have been investigated. Results of experimental researches of Teflon and Kaprolon turning processing in view of chip formation process are presented and discussed. These results allow to set the correlation between cutting parameters and kind of chips.

Key words: polymeric materials, turning, cutting parameters, chip, shear deformation, shrinkage.

ВВЕДЕНИЕ

Качество поверхности при точении полимерных материалов во многом зависит от характера и величины деформации обрабатываемого материала в процессе обработки. Внешним проявлением процесса деформирования при наличии значительных пластических деформаций является, как известно [1], усадка стружки. Это физическое явление, связанное с возникновением сложнапряженного состояния материала, со спецификой его разрушения, с изменением его структуры и физико-химических свойств. Степень усадки стружки оценивают посредством соответствующих коэффициентов усадки, которые представляют собой соотношения линейных размеров стружки и срезаемого слоя материала заготовки. Известны следующие коэффициенты: коэффициент укорочения $K_L = L_o / L_{cmp}$, коэффициент уширения $K_b = b_{cmp} / b_o$, коэффициент утолщения $K_a = a_{cmp} / a_o$. Так объем пластически деформированного материала не изменяется, то $K_L = K_a$.

При резании различных материалов и в разных условиях эти коэффициенты могут принимать различные значения и служить базой для сравнительного качественного анализа влияния тех или иных факторов на характер стружкообразования. Многочисленными исследованиями [1] процесса резания различных конструкционных материалов установлено, что при резании пластичных материалов коэффициент усадки больше, чем при резании материалов хрупких. Например, при резании углеродистой стали величина K_L колеблется от 2 до 6, при обработке чугуна – от 1,5 до 2,5.

Как известно, при резании полимерных материалов образуется стружка нескольких различных типа: простая прерывистая стружка скалывания, сложная прерывистая стружка скалывания, прерывистая стружка с трещинами [2]. Таким образом, по виду стружки так же можно косвенно оценить процесс стружкообразования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данной работы - экспериментальное исследование влияния режимов резания при точении заготовок из термопластичных полимерных материалов типа фторопласт-4 и капролон на характер стружкообразования и тип получаемой стружки.

В первой серии экспериментов величины подачи и глубины резания поддерживались постоянными и составляли соответственно: $t_p = 1$ мм, $s = 0,1$ мм/об. Скорость резания варьировалась в пределах от 50 до 300 м/мин для фторопласта-4 и от 100 до 400 м/мин при точении капролона. Коэффициент усадки определялся экспериментальным способом путем измерения толщины элементов стружки. Полученные значения коэффициентов усадки для различных скоростей резания представлены в таблице 1.

Целью следующей серии экспериментов является установление влияния глубины резания заготовок их фторопласта -4 и капролона на характер стружкообразования и тип получаемой стружки. Подача поддерживалась постоянной и составляла 0,1 мм/об, скорость резания для фторопласта-4 равнялась 100 м/мин, при точении капролона – 250 м/мин. Глубина резания варьировалась в пределах от 0,5 до 5 мм. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 2.

Целью последней серии экспериментов является установление влияния глубины резания заготовок из фторопласта -4 и капролона на характер стружкообразования и тип получаемой стружки. Глубина резания поддерживалась постоянной и составляла 1,0 мм, скорость резания для фторопласта-4 равнялась 100 м/мин, при точении капролона – 250 м/мин. Подача варьировалась в пределах от 0,08 до 0,28 мм/об. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 3.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ данных из таблицы 1 показывает, что скорость резания оказывает некоторое влияние на процесс стружкообразования, о чем свидетельствует снижение значений коэффициента усадки во всем исследуемом диапазоне скоростей для обоих материалов. Такой характер зависимости коэффициента усадки от скорости резания можно объяснить следующим образом.

Таблица 1 - Значения коэффициентов усадки при различных скоростях резания

Материал заготовок	Коэффициент усадки							
	Скорость резания, м/мин							
	50	100	150	200	250	300	350	400
Капролон	-	1,98	1,91	1,85	1,85	1,84	1,55	1,5
Фторопласт-4	2,04	2,06	2,04	1,98	1,86	1,78	-	-

Разрушение материалов, включая и полимерные, при механической обработке происходит либо путем развития пластического деформирования до некоторого критического состояния, либо путем образования и роста трещин, т.е. хрупкого разрушения. Поэтому отделение срезаемого слоя и образование стружки при резании полимерных материалов, может происходить посредством двух типов разрушения: путем среза, осуществляемого касательными напряжениями, и путем отрыва, осуществляемого нормальными напряжениями.

Возникновение того или иного вида нагружения в значительной степени обусловлено реологическими свойствами материала, важнейшее из которых – временная зависимость, т.е. реакция полимерного материала на скорость деформации. В работе [3] представлены результаты исследований, подтверждающих тот факт, что при низкой скорости деформации наблюдается тенденция к пластичному излому с вязкой деформацией, а хрупкое разрушение имеет место при высокой скорости деформации. Таким образом, один и тот же материал в зависимости от характера напряженного состояния при резании и скорости деформации может проявить себя и как хрупкий и как пластичный, о чем свидетельствует вид получающейся стружки – наличие сдвиговых полос.

Согласно данным, представленным в таблице 1, значения коэффициента K_L уменьшается с увеличением скорости резания. Такое изменение связано со сменой механизма разрушения: от вязкого к хрупкому и переходом непрерывной сливной стружки к непрерывной суставчатой (элементной), что подтверждается фотографиями стружек капролона и фторопласта-4, рисунок 1 и 2.

В данном случае можно говорить только о тенденции такого перехода, так коэффициент K_L изменяется в небольших пределах, что коррелирует с незначительными отличиями в строении стружек данных материалов при повышении скорости резания.

С ростом скорости резания происходит запаздывание пластической деформации, в результате увеличивается угол сдвига, снижается общая величина степени деформации срезаемого слоя. Это обуславливает уменьшение доли деформации сжатия в деформационном цикле «сжатие-сдвиг» и толщина элементов стружки уменьшается, а основной объем элемента стружки оказывается малодеформированным. В результате создаются условия для локализованного сдвига, который сопровождается большой долей хрупкого разрушения, т.е. доля вязкого механизма роста трещин в окрестности режущего лезвия при сдвиге элемента стружки сокращается, что и является причиной некоторого изменения вида стружки с ростом скорости резания.

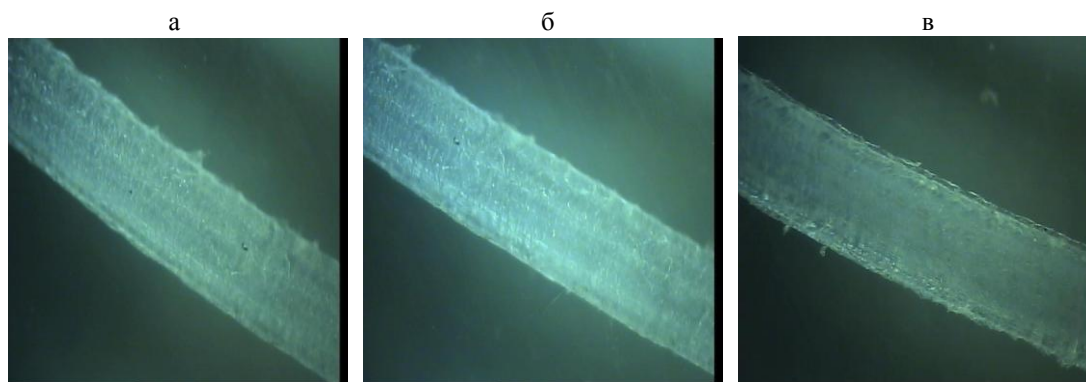


Рисунок 1 – Типы стружек при точении капролона (x500)
 а – скорость резания 100 м/мин; б – скорость резания 200 м/мин;
 в – скорость резания 400 м/мин

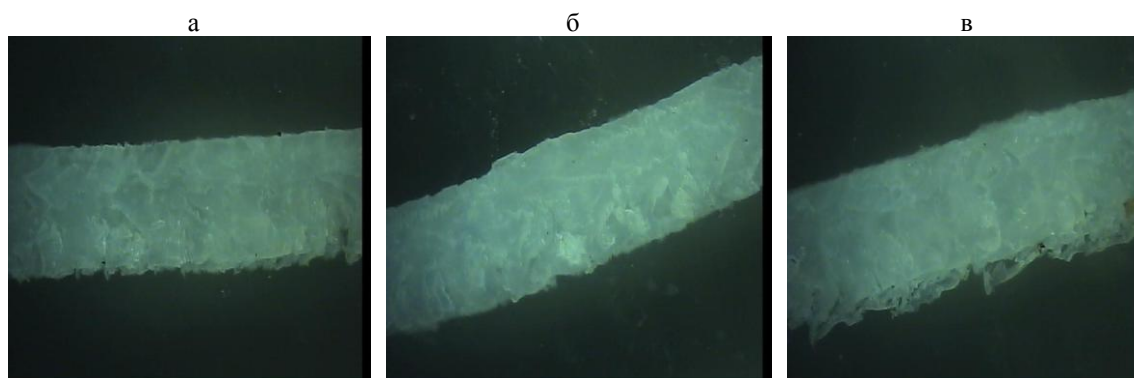


Рисунок 2 – Типы стружек при точении фторопласта-4 (x500)
 а – скорость резания 50 м/мин; б – скорость резания 100 м/мин;
 в – скорость резания 200 м/мин

Из анализа данных, таблицы 2 следует, что характер стружкообразования при точении заготовок из исследуемых полимерных материалов меняется с увеличением глубины резания. Об этом свидетельствует динамика изменения коэффициента усадки, а именно: с ростом глубины резания значения коэффициента снижаются.

Таблица 2 – Значения коэффициентов усадки при различных глубинах резания

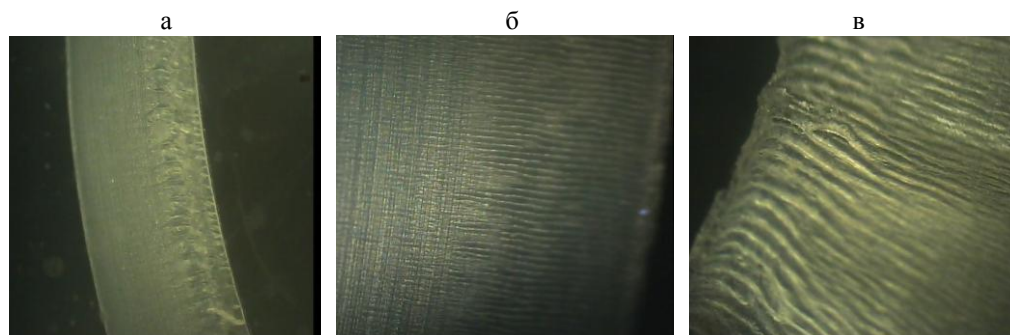
Материал заготовок	Коэффициент усадки					
	Глубина резания, мм					
	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Капролон	1,9	1,85	1,78	1,67	1,41	1,24
Фторопласт-4	2,86	2,70	2,27	1,96	1,55	1,32

При увеличении глубины резания растет объем деформированного материала. Это происходит за счет увеличения длины контакта режущих кромок с обрабатываемым материалом. Кроме того, с ростом глубины резания происходит рост силы резания P_z . Взаимное действие указанных факторов приводит к тому, что в объеме срезаемого материала уменьшается доля деформации сдвига и увеличивается доля деформации сжатия. Как уже неоднократно отмечалось, твердые полимерные тела являются неоднородными как на макро, так и на микроскопическом уровне. В жестких полимерах всегда имеются различные дефекты, из которых самыми распространенными являются микротрещины, пустоты, включения. Действуя на неоднородный полимер, поле напряжений сжатия становится также неоднородным и создает концентрации напряжений в окрестности любого дефекта.

Таким образом, в результате неоднородной деформации сжатия и локализации сдвиговой деформации на стыках аморфной и кристаллической фаз полимерных материалов при их токарной обработке имеет место тенденция формирования суставчатой стружки с увеличением глубины резания.

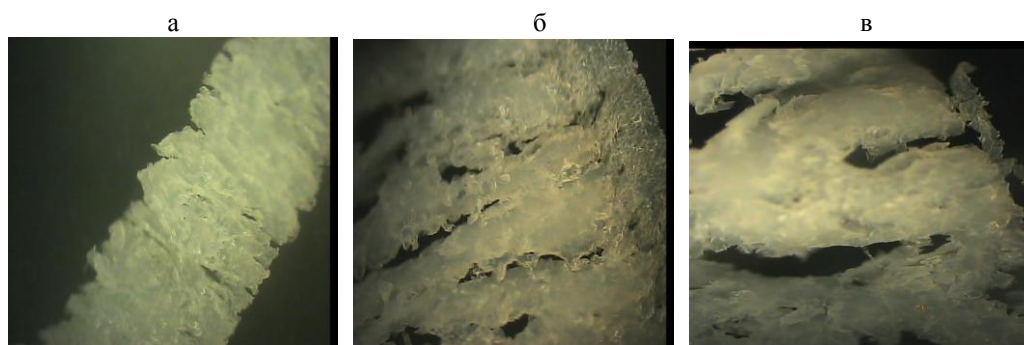
Подтверждением такого вывода служат электронные микрофотографии стружек, рисунок 3 и 4, полученных при точении капролона и фторопласта-4 с разными глубинами резания.

Образование суставчатой стружки при увеличении глубины резания свидетельствует об ухудшении условий стружкообразования, росте энергоемкости процесса резания. Рост размеров отдельных элементов, формирующих стружку, происходит вследствие такого изменения условий обработки, при котором возрастают, прежде всего, напряжения сжатия. Все это ведет к снижению качественных показателей обработанной поверхности деталей.



*Рисунок 3 – Типы стружек при точении капролона (x500)
а – глубина резания 2 мм; б – глубина резания 3 мм; в – глубина резания 5 мм*

Анализ экспериментальных данных, представленных в таблице 3, позволяет сделать заключение о том, что подача также оказывает влияние на протекание процесса стружкообразования. Это заключение подтверждается характером изменения коэффициента усадки с изменением подачи, величина которого снижается с понижением значения подачи. Как известно [1], с увеличением подачи возрастает также объем деформированного материала и сила резания, аналогично тому, что имеет место при увеличении глубины резания. Следовательно, причины изменения характера стружкообразования при повышении подачи являются аналогичными при увеличении глубины резания.



*Рисунок 4 – Типы стружек при точении фторопласта (x500)
а – глубина резания 2 мм; б – глубина резания 3 мм; в – глубина резания 5 мм*

Таблица 3 – Значения коэффициентов усадки при различных значениях подачи

Материал заготовок	Коэффициент усадки					
	Подача, мм/об					
	0,08	0,11	0,17	0,2	0,25	0,28
Капролон	2,3	1,85	1,8	1,76	1,71	1,64
Фторопласт-4	2,6	2,50	2,16	1,84	1,39	1,22

ВЫВОД

Экспериментально доказано, что на характер стружкообразования при точении заготовок из исследуемых полимерных материалов максимальное влияние оказывает глубина резания; об этом свидетельствует динамика изменения коэффициента усадки, а именно: с ростом глубины резания значения коэффициента снижаются. Установлено, что в результате неоднородной деформации сжатия и локализации сдвиговой деформации на стыках аморфной и кристаллической фаз полимерных материалов при их токарной обработке имеет место тенденция формирования суставчатой стружки с увеличением глубины резания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов, В. А. Схема стружкообразования (динамическая модель процесса резания) / В.А. Кудинов // Станки и инструменты. 1992.-№10. С.14-17. №11. С.26–29.
2. Гаврилова, А.В. Повышение качества лезвийной обработки полимерных материалов путем предварительного механического деформирования заготовок//Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.- Комсомольск – на - Амуре, 2009.
3. Еренков, О.Ю. Новые комбинированные способы обработки полимерных материалов резанием на основе предварительных физико- химических и механических воздействий / О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко, Хосен Ри. - Владивосток: Дальнаука, 2007. - 219 с.

Еренков Олег Юрьевич

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
 Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химической технологии и биотехнологии»
 Телефон: (4212) 37-52-31
 E-mail: erenkov@list.ru

Гаврилова Анна Владимировна

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
 Кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Детали машин»
 Телефон: (4212) 59-25-71
 E-mail:avalirvag@mail.ru

Калита Евгений Георгиевич

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
 Аспирант кафедры «Химическая технология и биотехнология»
 Телефон: (4212) 37-52-59
 E-mail: Kalita85@mail.ru

Картелев Дмитрий Владимирович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерное проектирование и сертификация машин»
 Телефон: (4212) 37-52-59
 E-mail: pilot0303@mail.ru

А.А. ДЬЯКОНОВ

ЗАДАЧИ И ОСОБЕННОСТИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИКИ ПРОЦЕССОВ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Приводятся результаты разработки пространственной теплофизической модели, учитывающей многокритериальные ограничения, закладываемые на процессы абразивной обработки. Данная модель впервые позволила объединить два основных и противоположных направления теплофизики данных процессов – сплошной и дискретный контакт шлифовального круга и обрабатываемой поверхности заготовки. Полученная модель, выраженная через безразмерные критерии, является обобщенной для любого вида абразивной обработки.

***Ключевые слова:** абразивная обработка, теплофизическая задача, сплошной и дискретный контакт, безразмерные критерии.*

The results of development spatial thermal physics model taking into account multicriterion limits lays the foundation of abrasion processes are presented in the article. This model allows combining of two basic and contrary directions of thermal physics processes – complete and discrete contact of abrasive disc and part blank drive surface for the first time. Obtained model expressed by immeasurable criteria is generalized for any kind abrasion.

***Key words:** abrasion, thermal physics task, complete and discrete contact, immeasurable criteria.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в теплофизике абразивной обработки среди разнообразных точек зрения к описанию тепловых явлений в зоне контакта можно выделить две основные и противоположные друг другу: сплошной источник тепла; дискретный источник тепла.

В первом случае зону контакта можно считать сплошным источником с плотностью теплового потока, распределенного по всей площадке по какому-либо непрерывному закону. С подходов аналитического описания и численного решения теплофизические модели со сплошным контактом являются наиболее удобными и простыми. Наряду с этим содержат «слабый» элемент – закон распределения плотности теплового потока в рассматриваемой зоне – определяется только исходя из экспериментальных исследований.

С позиций природы формирования температурного поля при абразивной обработке наиболее адекватной является модель с дискретным источником тепла, т.е. учитывается множественное микрорезание отдельных абразивных зерен. Также данные модели позволяют исключить необходимость экспериментального нахождения закона распределения плотности теплового потока, т.к. он является расчетным параметром в зависимости от физических температурно-скоростных прочностных характеристик обрабатываемого материала.

С практической стороны эти подходы имеют равное право на существование, т.к. изначально направлены на решение разных задач теплофизики резания и рассмотрение характеристических особенностей данного процесса.

Модели первого класса разрабатываются и используются для решения вопросов качества поверхностного слоя обрабатываемой заготовки – исследование термических микротрещин (прижогов) [1], остаточных напряжений [2], наклепа и т. д.

Модели второго класса в своем большинстве применяются для расчетной оценки обрабатываемости материалов в процессах абразивной обработки [3, 4].

Другими словами, применяя модели того или иного класса, можно с достаточной долей достоверности прогнозировать определенные выходные показатели процесса. Однако эффективность методики проектирования операции в целом в большей степени зависит от всех показателей качества, точности и собственных свойств обрабатываемого материала в рассматриваемых технологических условиях и при определенных ограничениях, для обоб-

щения которых мы ввели понятие – технологическая обрабатываемость материалов в процессах абразивной обработки [5]. Поэтому в настоящее время становится актуальной задача разработки единой многокритериальной теплофизической модели абразивной обработки, учитывающей перечисленные требования и ограничения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Как показано в предыдущих работах, за основу единой модели целесообразно принять дискретную схему контакта, т.к. она позволяет аналитически учесть существенную внутреннюю нелинейность процесса [6].

Фундаментальное решение дискретной схемы контакта предложено С.Н. Корчаком. Применяя теорию быстро движущихся источников, предложенную академиком Н.Н. Рыкалинным, удалось исключить координату по времени, а пренебрегая шириной удалось свести уравнение теплопроводности к одномерному по глубине поверхностного слоя. Такие допущения оправданы гносеологией теории обрабатываемости материалов при шлифовании, предложенной С.Н. Корчаком – однокритериальная оценка по точности обработки. Дальнейшее развитие это направление получило в работах В.И. Клочко [7] и А.А. Дьяконова [6]. Впервые произведен учет прерывистости режущей кромки по ширине шлифовального круга – в первом случае тремя детерминированными вариациями расположения зерен, во втором – вероятностный размер и расположение зерен на поверхности шлифовального круга. Однако они реализованы только в двумерной постановке – отсутствует распределение температуры по глубине поверхностного слоя. Постановка задачи на поверхности позволила выразить интегральное уравнение теплопроводности через известные специальные функции – интегральные функции ошибок, введенные Хартри и интегральная показательная.

Также стоит отметить, что применяемое во всех отмеченных работах усреднение вектора скорости (1) является довольно грубым допущением, т.к. первая составляющая характеризует интенсивность теплоподвода в зону контакта, а вторая конвективные оттоки из нее. Другими словами, данные составляющие характеризуют различные физические явления, объединение которых может значительно исказить действительную физическую картину в зоне контакта. Имеется и еще одна особенность – существуют виды с продольным смещением – третья составляющая уравнения (1), т.е. рассматриваемые вектора являются коллинеарными.

$$\vec{V} = \vec{V}_k + \vec{V}_d + \vec{V}_s \quad (1)$$

где \vec{V}_k – вектор скорости вращения круга;
 \vec{V}_d – вектор скорости вращения детали;
 \vec{V}_s – вектор скорости подачи.

В теории абразивной обработки общепринятым является, что из общего числа зерен, находящихся в зоне контакта, приблизительно 10–17% являются режущими, а остальные в виду разновысотности профиля шлифовального круга – трущими (давящими). Это позволяло делать допущения о малом влиянии трущих зерен и не учитывать их при постановке теплофизических задач. При этом интенсивность тепловыделения от пластической деформации q_s и трения $q_{тр}$ усреднялась – $q_{ср}$ (рисунок 1).

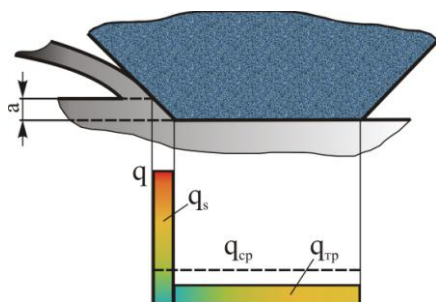


Рисунок 1 – Эюра интенсивности источника тепла по осевому сечению зерна

При реализации теплофизической модели предлагается ввести две группы зерен – режущие и трущие с соответствующими интенсивностями тепловыделения и учетом участков пластической деформации и трения.

В рассматриваемой схеме контакт абразивного зерна происходит в области, ограниченной пятном контакта. Вне него вся область является теплоизолированной. Последнее обстоятельство является уже допущением – при обработке с СОЖ именно здесь и находится

основное поле ее действия. Однако, во-первых, действие СОЖ может лишь снизить уровень температур, но никак не исказить кинематику температурного поля, во-вторых, согласно мнению ряда исследователей СОЖ эффективно снижает температуру именно на этих участках, обеспечивая отсутствие накопленной температуры в поверхностных слоях детали после совершения полного оборота к моменту повторного входа в зону контакта. Значительно слабее ее действие на температуры в контактной зоне – оно скорее опосредованное через снижение коэффициента трения, интенсификацию физико-химических процессов, поверхностно-активационных явлений, т.е. улучшения условий резания.

В итоге приходим к следующей расчетной схеме (рисунок 2): на детали, являющейся полупространством, зафиксирована неподвижная система координат XYZ (система координат станка). Активизация тепловых источников – случайно расположенных абразивных зерен происходит в области пятна контакта, ограниченного по длине отрезком OL и ширине отрезком OB. Развертка круга с расположенными на ней абразивными зернами движется со скоростью V_k , а деталь (полупространство) с соответствующей скоростью V_d . При этом для учета физики взаимодействия видов с продольной подачей введены две зоны резания.

В результате этого общий фазовый портрет процесса прохождения зерен через зону пятна контакта можно представить следующим образом (рисунок 3).

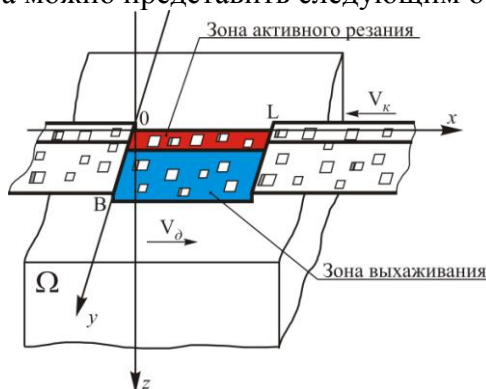


Рисунок 2 – Расчетная схема трехмерной модели теплофизики процессов абразивной обработки

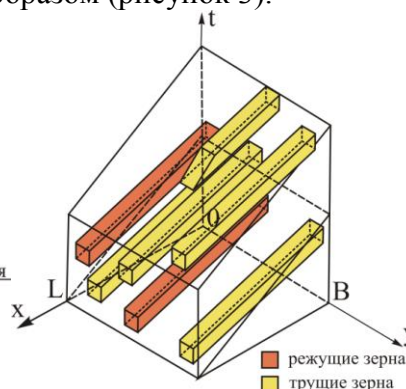


Рисунок 3 – Фазовый портрет процесса

Пологая, что каждое зерно на пятне контакта является источником тепла интенсивности q , придем к следующей математической формулировке задачи:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{div}(\lambda \vec{\nabla} U) - \rho c \vec{V}_d \cdot \vec{\nabla} U = q(x, y, t) \\ U|_{z=0} = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

где $c(U)$ – весовая теплоемкость материала;

\vec{V}_d – вектор скорости детали;

λ – теплопроводность;

$q(x, y, t)$ – интенсивность теплового источника с координатами x, y в момент времени t .

Это вторая краевая задача для уравнения теплопроводности в полупространстве с конвективным членом.

Принимая во внимание то, что существенное изменение температурного поля происходит на разгонном участке, который составляет порядка 10–15% от общей длины контакта, можно принять допущения, что теплофизические свойства материала являются постоянными внутри из каждой рассматриваемой группы.

В итоге получим систему (3), являющейся линейной постановкой системы уравнений (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} + V_x \frac{\partial u}{\partial x} = \chi \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\lambda} q_{xy} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq x \leq L \\ 0 \leq y \leq l_y \\ 0 \leq z \leq h_x \end{array} \right. \quad (3)$$

где χ – коэффициент температуропроводности.

Таким образом, имеем модель, обобщающую идеи двух разноплановых теплофизических направлений, т.е. рассматривается некая сплошная область контакта, по которой перемещаются тепловые источники, интенсивность тепловыделения которых определяется исходя из температурно-скоростных прочностных свойств материала.

ИНТЕГРАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

Математическое описание трехмерного температурного поля в зоне шлифования при полном учете кинематики процесса – скорости круга, заготовки, скоростей подачи, а также

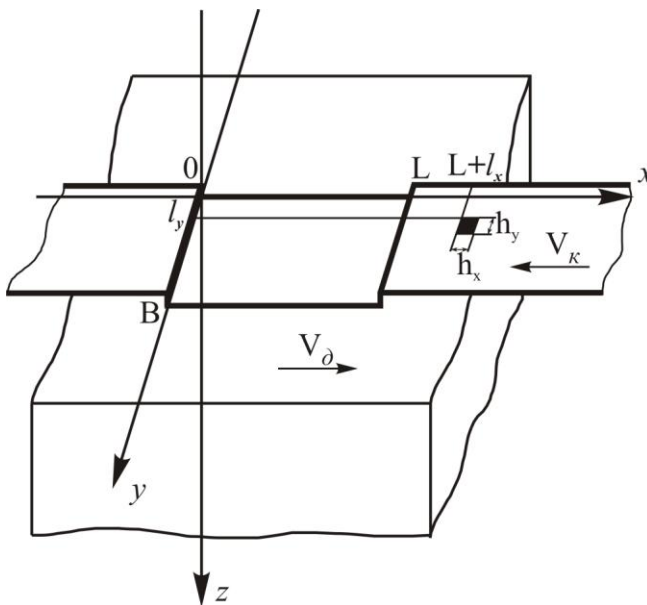


Рисунок 4 – Расчетная схема к определению теплофизической модели от действия единичного источника тепла

представлении процесса абразивной обработки, как процесса множественного микрорезания абразивными зернами приводит ко второй краевой задаче для уравнения теплопроводности в среде, движущейся со скоростью детали, и стохастическим множеством тепловых источников, пробегающих зону контакта круга с заготовкой со скоростью круга.

Рассмотрим действие одного теплового источника – абразивного зерна в начальный момент времени $t=0$ (рисунок 4). Положение зерна в пространстве будет описываться соответствующими координатами по оси абсцисс и ординат.

В первом приближении форма зоны шлифования принята в виде прямоугольника с соответствующими границами. Такой вид она имеет для

схем: круглое наружное врезное шлифование, шлифование отверстий, бесцентровое, плоское шлифование периферией круга.

В результате имеем вторую краевую задачу для уравнения теплопроводности в полупространстве с конвективным членом, для которой отсутствуют известные решения.

Из специальных разделов уравнений математической физики известны разнообразные методы, позволяющие отойти от конвективного члена в уравнении теплопроводности. Это методы интегрального и итерационного преобразования, применение функций Грина, Фурье и т. д.

Однако анализ предложенной расчетной схемы показал, что перевод задачи в подвижную систему координат, связанную с заготовкой, позволяет построить интегральное решение задачи в виде свертки функции интенсивности теплового источника с функцией Грина для полупространства. Функция интенсивности источника является кусочно-аналитической (рисунок 5):



Вследствие такой составной структуры функции $q(x, y, t)$ целесообразно введение элемента решения – функции влияния отдельного теплового источника, которая формируется как тройной интеграл по отдельной заштрихованной области, трансформирующийся после описания границ области в трехкратный (4):

$$\int_0^L \int_0^B \int_0^t q(x, y, t) dx dy dt \quad (4)$$

В зоне шлифования тепловой источник перемещается со скоростью V_k (рисунок 6), тогда закон его перемещения можно записать следующим образом:

- начало действия $x = V_k t$
- окончание действия $x = L - V_k t$

Структура подинтегральной функции и функций в пределах интегрирования в решении (4) такова, что получается естественный порядок рассмотрения однократных интегралов. Переменные x' и y' независимы друг от друга, и интегрирование по ним можно вести в первую очередь, затем рассматривается объединяющий все переменные интеграл по t' .

Пределы интегрирования по y' постоянны, поэтому интеграл по этой переменной выражается непосредственно через известные функции $\text{erf } \zeta$.

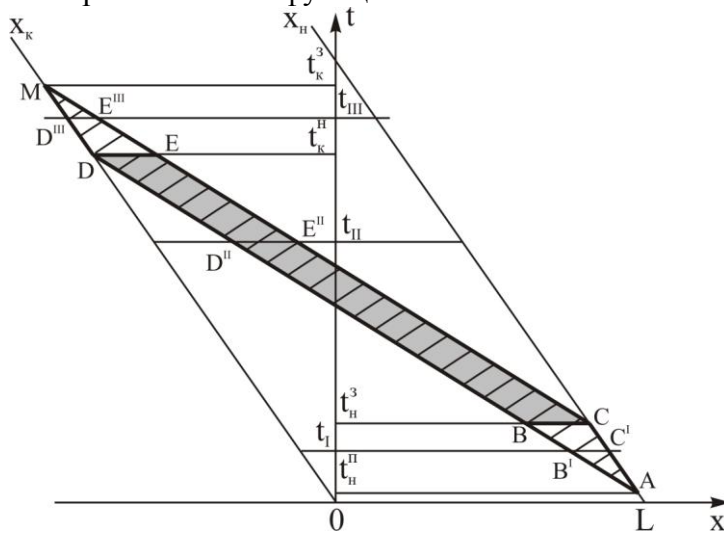


Рисунок 6 – Фазовый портрет единичного теплового источника в системе координат заготовки

Сложнее обстоит дело в интеграле по переменной x' . Здесь пределы интегрирования зависят от времени t и поскольку интеграл рассматривается для текущего времени, область интегрирования может принимать три разных формы (рисунок 6):

- $t_1 \leq t \leq t_2$ – вход зерна-источника в зону шлифования, область интегрирования – треугольник AB^1C^1 – зона I;
- $t_2 \leq t \leq t_3$ – работа зерна-источника в зоне шлифования, область – параллелограмм $B^1CD^1E^1$ – зона II;
- $t_3 \leq t \leq t_k$ – выход зерна-источника из зоны шлифования, область интегрирования – трапеция $DE^1E^1E^1$ – зона III.

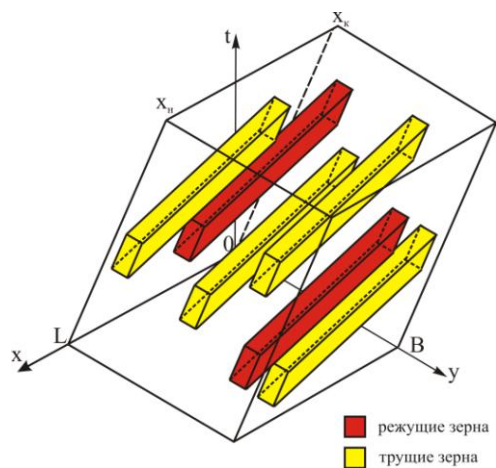


Рисунок 5 – Фазовый портрет множественного источника

Области I и III более сложны для интегрирования, поскольку ширина области переменна и является функцией времени. В области II ширина постоянна и не зависит от времени, т.е. интеграл существенно упрощается. Учитывая, что зона входа (I) и выхода (III) зерна на порядок меньше зоны его работы (II), предлагается пренебречь этими нестационарными зонами и ограничить рассмотрение интеграла (2) зоной I. Механически это допущение означает, что зерно мгновенно попадает в зону шлифования и также мгновенно из нее исчезает. Это математическое допущение даже более реалистично с точки зрения теплофизики процесса. При такой трактовке закономерностей работы теплового источника его фазовый портрет описывается лишь областью с двойной штриховкой – параллелепипед BCDE (рисунок 6).

Для модифицированного фазового портрета теплового источника интегрирование по x проводится аналогично интегрированию по y .

В итоге трехкратный интеграл (4) сводится к однократному по переменной t :

$$\begin{aligned}
 U = & 2q \int_{t_0}^t e^{-\frac{z^2}{4\chi t}} \left[\operatorname{erf} \frac{|y-l_y|}{\sqrt{4\chi t}} - \operatorname{erf} \frac{|y-l_y-h_y|}{\sqrt{4\chi t}} \right] \times \\
 & \times \left[\operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+h_x+w|}{\sqrt{4\chi t}} - \operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+w|}{\sqrt{4\chi t}} \right] \times \\
 & \frac{4\chi t}{4} \frac{d}{\sqrt{4\chi t}} = \frac{1}{2} q \int_{t_0}^t e^{-\frac{z^2}{4\chi t}} \left[\operatorname{erf} \frac{|y-l_y|}{\sqrt{4\chi t}} - \operatorname{erf} \frac{|y-l_y-h_y|}{\sqrt{4\chi t}} \right] \times \\
 & \times \left[\operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+h_x+w|}{\sqrt{4\chi t}} - \operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+w|}{\sqrt{4\chi t}} \right] \frac{d}{\sqrt{4\chi t}}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Этот интеграл является существенно несобственным – верхний предел $t=t$ образует особую точку для всех составляющих подинтегральной функции. Однако функциональное преобразование:

$$\sqrt{t-t} = \xi$$

трансформирует его к виду:

$$\begin{aligned}
 U = & 2q \int_{t_0}^t e^{-\frac{z^2}{4\chi t}} \left[\operatorname{erf} \frac{|y-l_y|}{\sqrt{4\chi t}} - \operatorname{erf} \frac{|y-l_y-h_y|}{\sqrt{4\chi t}} \right] \times \\
 & \times \left[\operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+h_x+w|}{\sqrt{4\chi t}} - \operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+w|}{\sqrt{4\chi t}} \right] \frac{d}{\sqrt{4\chi t}}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

где особенность сохраняется лишь в аргументе функции $\operatorname{erf} \xi$, в нижнем пределе.

Суммирование (6) по всем источникам позволяет сформировать многокритериальную трехмерную теплофизическую модель процессов абразивной обработки:

$$\begin{aligned}
 U = & \sum_i 2q_i \int_{t_0}^t e^{-\frac{z^2}{4\chi_i t}} \left[\operatorname{erf} \frac{|y-l_y|}{\sqrt{4\chi_i t}} - \operatorname{erf} \frac{|y-l_y-h_y|}{\sqrt{4\chi_i t}} \right] \times \\
 & \times \left[\operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+h_x+w|}{\sqrt{4\chi_i t}} - \operatorname{erf} \frac{|X-L-l_x+w|}{\sqrt{4\chi_i t}} \right] \frac{d}{\sqrt{4\chi_i t}}.
 \end{aligned}$$

ВЫВОДЫ

Разработанная пространственная многокритериальная теплофизическая модель впервые позволила обобщить идеи двух разноплановых теплофизических направлений, что с практической стороны позволяет аналитически прогнозировать основные выходные показатели процесса абразивной обработки – обеспечение точности и бесприжоговости поверхностного слоя.

Функция $\operatorname{erf}|\xi|$ ограничена, поэтому особенность в точке $\xi=0$ не доставляет больших трудностей при численном интегрировании, а именно этот путь работы с полученным интегральным решением представляется наиболее эффективным, учитывая наличие в подинтегральном выражении трансцендентных и специальных функций. Как показывает анализ, первый член асимптотического разложения функции $\operatorname{erf}|\xi|$:

$$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \approx 1 - \operatorname{erf} x \approx \frac{e^{-x^2}}{\sqrt{\pi} x} \left(\frac{1}{2x^3} + \frac{13}{2x^5} + \frac{135}{2x^7} + \dots \right)$$

для значений аргумента $\xi \geq 3$ описывает функцию с погрешностью не более 10^{-5} . С учетом принятого асимптотического представления подинтегральной функции интеграл рассчитывается стандартной численной процедурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сипайлов, В.А. Расчет температур при шлифовании / В.А. Сипайлов // Вестник машиностроения. – 1966. – №8. – С.40–45.
2. Евсеев, Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Саратов. ун-т, 1975. – 127 с.
3. Редько, С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании / С.Г. Редько. – Саратов: Саратов. ун-т, 1962. – 232 с.
4. Корчак, С.Н. Теория обрабатываемости сталей и сплавов при абразивной обработке / С.Н. Корчак // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Машиностроение». – 2003. – №4. – С. 82–90.
5. Dyakonov A.A. Material technological machinability by grinding // Components of scientific and technical progress: IV the International scientific-practical conference. – Tombov, 2008. – P.121–122.
6. Dyakonov A.A. Particular qualities of temperature field blank formation by grinding // Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center. – 2007. – Vol. 3 (37). – P. 34–39.
7. Ключко, В.И. Эффективность высокоскоростного шлифования разных сталей и сплавов с учетом точности и качества обработки: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, – 1984. – 207 с.

Дьяконов Александр Анатольевич

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

г. Челябинск, ул. Агалакова, д. 44

Тел. (351) 248-34-14

E-mail: sigma-80@mail.ru

Е.А. ЛЕДКОВ, С.Н. ХИМУХИН, В.М. ДАВЫДОВ

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОРЕЛЬЕФ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

С использованием современных методов оценки микрорельефа поверхности исследован процесс формирования покрытия методом электроискрового легирования (ЭИЛ) на образцах из стали, обрабатываемых электродами из меди, твердого сплава, никеля, хрома и алюминия. Разработана методика оценки микрорельефа получаемых покрытий, позволяющая оценивать их эксплуатационные характеристики. Представлены результаты исследований влияния ультразвуковой обработки на микрорельеф покрытий, их твердость и структуру.

Ключевые слова: электроискровое легирование, ультразвуковая обработка, кривая Аббота, микротвердость.

The methods of the microrelief estimation of the surface being obtained were developed. These methods are able to estimate their operation data. The results of the research of the ultrasonic processing having an influence on the surface microrelief, its hardness and structure are presented. The process of the covering formation by means of an electrospark alloying on the steel samples being processed by the copper electrodes, the hard alloy, nickel, chrome and aluminum electrodes was researched.

Key words: an electrospark alloying, ultrasonic processing, curve Abbota, microhardness.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод ЭИЛ основан на использовании явления эрозионного разрушения материала анода и последующего его переноса на катод (деталь), с дальнейшим формированием слоя металла с измененной структурой и свойствами. Существенными недостатками метода являются нестабильность протекания процесса и как следствие низкое качество шероховатости поверхности, дефекты, остаточные растягивающие напряжения в слое, которые делают невозможным широкое применение ЭИЛ в производстве.

Для решения проблемы стабилизации обработки использовалось устройство адаптивного управления ЭИЛ, на основе искусственного интеллекта, обеспечивающее стабильность протекания процесса за счет стабилизации температуры, состава газовой среды, позиционирование и электрических параметров системы, которое подробно описано в [1].

Традиционно, для оценки шероховатости покрытия используют одиночные параметры Ra или Rz разработанные для оценки микропрофиля поверхностей имеющих регулярную шероховатость, образующуюся исходя из кинематики процесса обработки и формы вершины режущего инструмента, что не позволяет однозначно определить и оценивать нерегулярный микрорельеф покрытий полученных методом ЭИЛ.

Для повышения качества микрорельефа использовался метод безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО), при этом предполагалось, что это позволит повысить качество шероховатости, равномерно распределить слой по поверхности детали и компенсировать растягивающие напряжения сжимающими, возникающими при обработке [2, 3, 4].

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА МИКРОРЕЛЬЕФА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ЭИЛ

Теоретически, процесс формирования микрорельефа при ЭИЛ, сводится к образованию капель расплавленного металла и переносу их на обрабатываемую деталь, при этом форма и размер капли принимается в определенном диапазоне значений, который в свою очередь определяется исходя из мощности установки при условии равномерного перемещения анода относительно катода. Практически же, на формирование микрорельефа при ЭИЛ, происходит наложение случайной составляющей. Наложение происходит потому, что размер

капли зависит не только от мощности генератора импульсов, но так же, и от физико-химических, электрических, теплопроводных свойств материалов катода и анода. В силу действия процессов окисления, обезуглероживания, высоких температур, эрозии, а так же образования различных дефектов и трещин в электродах и получаемом покрытии происходит неконтролируемое изменение размера формируемой капли. Кроме этого, явление обратного массопереноса вносит дополнительный случайный фактор в процесс формирования микрорельефа покрытия.

В связи с изменениями в структуре и свойствах материалов электродов и покрытия, а так же хаотичностью процесса образования капель расплавленного металла, высоты и впадины на поверхности обрабатываемой детали расположены нерегулярно. Для оценки получаемого при ЭИЛ микрорельефа поверхности предлагается использовать параметры R_k , R_{pk} и R_{vk} . Данные параметры определяются по опорной линии поверхности (кривой Аббота), характеризующей процентное содержание материала по высоте шероховатого слоя в пределах максимальной высоты микронеровностей R_{max} . На рисунке 1 показана профилограмма (в) и кривая Аббота (г) условной поверхности.

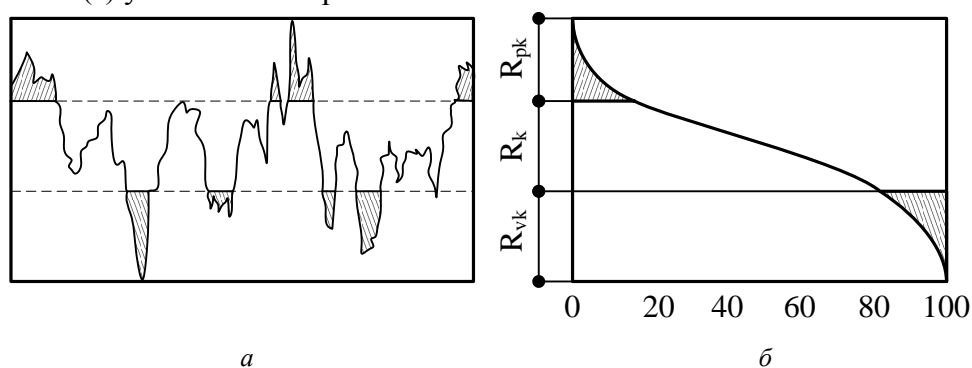


Рисунок 1 – Профилограмма и кривая Аббота условной поверхности
а – профилограмма; б – кривая Аббота

Кривая Аббота позволяет оценить распределение материала на измеряемой длине и определить параметры, связанные с процессами трения, коррозии, окисления и др. характеризующиеся параметрами:

- R_{pk} - усредненная высота выступов, верхняя часть профиля поверхности, которая, как правило, срезается в процессе приработки.
- R_k - глубина неровностей профиля поверхности, определяющая основу профиля. На этом уровне поверхность длительное время находится в работе. Является несущей площадью по мере срабатывания наружных слоев, а также позволяет оценить величину сближений контактирующих деталей под нагрузкой. Данный параметр имеет решающее влияние на срок службы и качественные показатели работы изделия.
- R_{vk} - усредненная глубина впадин профиля, определяющих смазывающую способность поверхности с одной стороны, а с другой – влияющий на процессы усталостного разрушения;
- $R_{pk} + R_k$ – изнашиваемость рабочих поверхностей.

Условно, эти параметры характеризуют окончательно полученную поверхность, как трехкомпонентную, состоящую отдельно из выступов (R_{pk}), основного профиля (R_k) и впадин (R_{vk}) и позволяют сравнительно оценивать ее эксплуатационные характеристики.

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОКРЫТИЯ ПРИ ЭИЛ

При исследовании динамики изменения параметров шероховатости, R_a , R_z , R_k , R_{pk} и R_{vk} , определяющих эксплуатационные свойства слоя, при ЭИЛ, было установлено, что зависимости R_a , R_z и R_k , от времени, эквивалентны друг другу, и для их сравнительной оценки достаточно использовать только один из них.

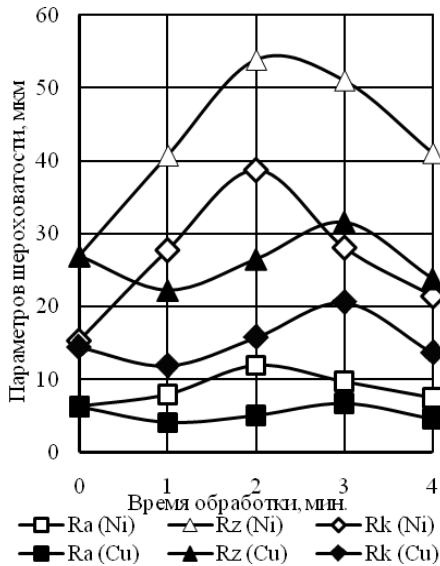


Рисунок 2 – Параметры шероховатости

На рисунке 3 представлены графики изменения параметров шероховатости от времени обработки. Необходимо отметить, что параметры шероховатости никелевого покрытия, существенно превышают параметры других покрытий (хром, медь, ВК6), что обусловлено более интенсивным массопереносом. По изменению параметров R_k , R_{pk} и R_{vk} , установлено, что с увеличением времени обработки, происходит увеличение высоты локальных максимумов, а так же, несущей поверхности и уменьшение глубины впадин профиля. После третьей минуты наблюдается обратный процесс, разрушение вершин микрорельефа и части несущей поверхности, их хрупкого разрушения и увеличение глубины впадин. С точки зрения эксплуатационных характеристик, для увеличения жаростойкости, коррозионной стойкости и износоустойчивости необходимо стремиться к снижению значений всех параметров и удлинению участка R_k на кривой Аббата.

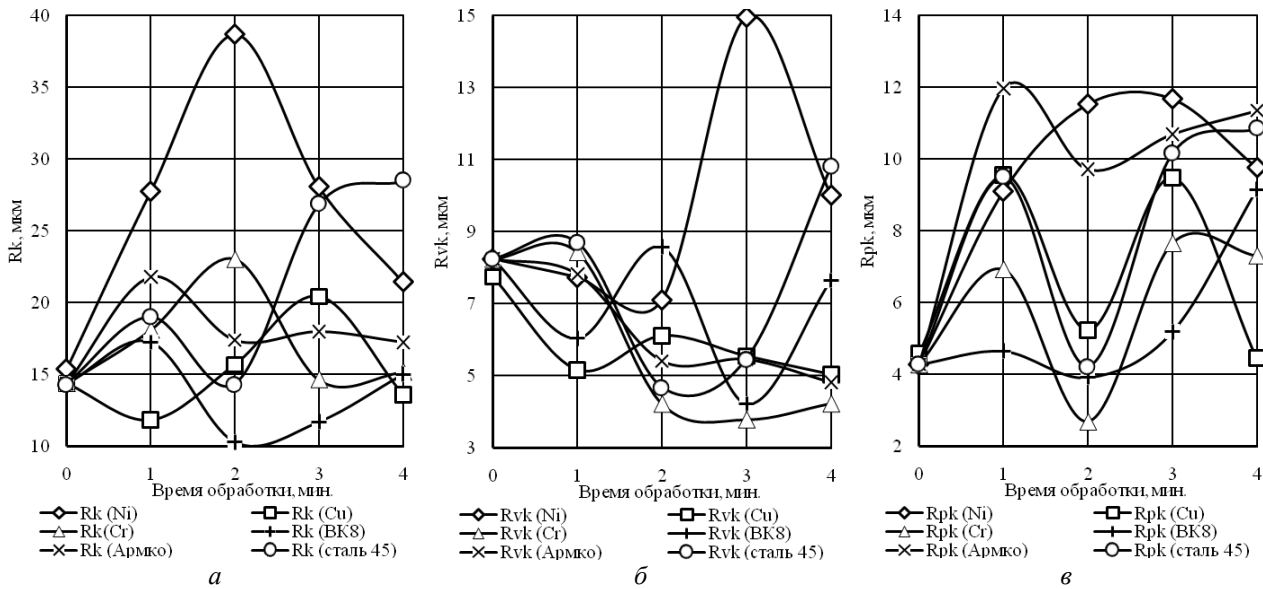


Рисунок 3 – Динамика изменения параметров микропрофиля в зависимости от времени обработки для различных материалов анода
 а – параметр R_k ; б – параметр R_{vk} ; в – параметр R_{pk} .

В общем случае, анализируя изменение параметра R_k можно оценить, как происходит формирование основы слоя, которая будет нести основную нагрузку при контактом взаимодействии, определять толщину слоя, стойкость к высоким температурам и агрессивным средам. Оценивая изменение высоты выступов (параметр R_{pk}) становится возможным контролировать образование локальных максимумов (пиков) возникающих в процессе ЭИЛ. Такие максимумы срезаются в процессе приработки при трении, но их величина определяет время приработки и уменьшает площадь контактной поверхности покрытия. Чаще всего выступы микрорельефа обладают малым объемом материала, поэтому, при воздействии высоких температур, происходит их интенсивное окисление и разрушение. Глубина впадин профиля (R_{vk}), позволяет оценивать самосмазываемость поверхности покрытия, что особенно важно при контактом трении в присутствии смазки. Чем больше глубина впадин, тем больше смазки сможет удержать поверхность, но впадины профиля являются концентраторами напряжений, которые влияют на процессы усталостного разрушения и негативно сказываются на коррозионной стойкости.

Гораздо больше возможностей для оценки эксплуатационных параметров слоя дает кривая Аббата. Кроме высотных характеристик она позволяет оценивать распределение материала по длине профиля (рисунок 4). На рисунок 4 представлены графики изменения кривой Аббата от времени в процессе обработки стали 30 различными анодами. Контролируя характер изменения кривой Аббата можно оценивать изменение опорной поверхности, величину и количество выступов и впадин профиля.

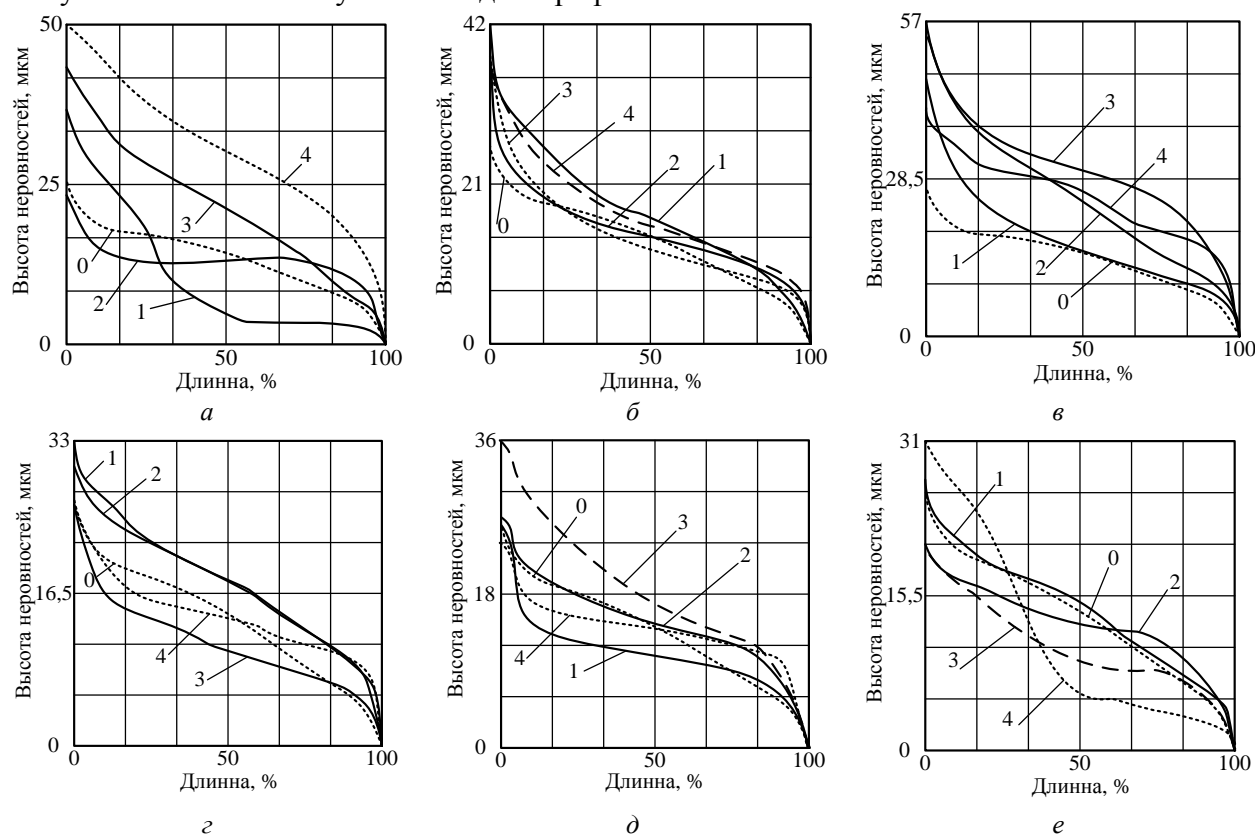


Рисунок 4 – Графики изменение кривой Аббата при ЭИЛ стальных образцов различными электродами в течении четырех минут (0 – исходная шероховатость образца перед обработкой) а – сталь 45; б – АРМКО-железо; в – никель; г – хром; д – медь; е – твердый сплав ВК8

Наименьшими значениями высот микронеровностей обладают покрытия, получаемые электродами из меди, хрома и твердого сплава (рисунок 4, г, д, е). Если при оценке шероховатости ограничиваться лишь параметром Ra, то такие покрытия будут иметь одинаковые свойства. Но данные кривой Аббата для четвертой минуты легирования твердым сплавом (рисунок 4. е) свидетельствуют о наихудших свойствах покрытия, определяемых микрорельефом. Профиль покрытия после четвертой минуты характеризуется большим числом выступов и практически полным отсутствием опорной поверхности.

Если рассмотреть покрытие из меди (рисунок 4, д), и учитывая её пластичность, то при обработке в течение 1-й минуты происходит заполнение неровностей обрабатываемой заготовки, снижение высоты микронеровностей и увеличение площади несущей поверхности. При дальнейшей обработке происходит увеличение амплитуды микронеровностей, которая достигает максимального значения после третьей минуты обработки. Четвертая минута характеризуется разрушением наиболее выступающих частей микропрофиля вследствие действия высоких температур и остаточных напряжений, в результате наблюдается улучшение эксплуатационных свойств покрытия обусловленных микрорельефом. Высота выступов уменьшается в 2–3 раза, а глубина впадин остается на прежнем уровне, так как контакт электродов и массоперенос осуществляется (преимущественно) по наиболее выступающим участкам покрытия.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОРЕЛЬЕФ, СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЯ

Для повышения качества шероховатости, поверхности, после ЭИЛ, покрытия подвергались безабразивной ультразвуковой финишной обработке (БУФО). Вступая во взаимодействие с покрытием, ультразвук пластически деформирует его поверхность, сглаживает вершины микронеровностей и упрочняет поверхностный слой, при этом индентор совершает колебания с ультразвуковой частотой (18 – 24 кГц), а амплитуда колебаний составляет 2 – 25 мкм. Один финишный проход излучателя ультразвука при исходной поверхности $R_a = 6,3$ мкм. дает поверхность с $R_a = 0,1$ мкм. На рисунке 5 представлены кривые Аббота, отражающие микрорельеф покрытий после ЭИЛ и БУФО в сравнении с микрорельефом образца после фрезерования. Покрытие из меди характеризуется наилучшими результатами, что обусловлено ее высокой пластичностью и относительно низкой твердостью. Высота микронеровностей уменьшилась с 24 до 4 мкм, при этом профиль покрытия характеризуется наибольшей длиной опорной поверхности и незначительными впадинами. Наихудшие результаты показало покрытие из твердого сплава, что можно объяснить высокой концентрацией остаточных напряжений и микротвердостью после ЭИЛ. В результате чего происходило хрупкое разрушение, а не пластическое деформирование.

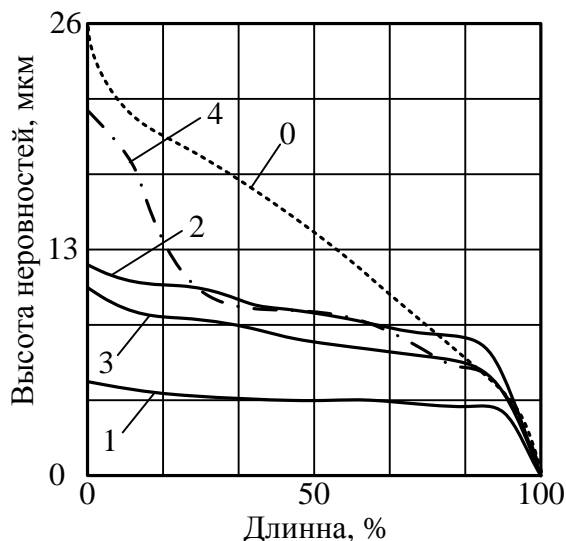


Рисунок 5 – Кривые Аббота поверхностей покрытий полученных методом ЭИЛ после БУФО и исходной поверхности
 0 - сталь 30 после фрезерования; 1 - медное покрытие; 2 - покрытие из алюминия; 3 - покрытие из никеля; 4 - покрытие из ВК8

двумя методами (рисунок 6 г). Первый характеризовался тем, что центр колебаний индентора находился выше поверхности покрытия (без прижатия к заготовке), во втором случае индентор доводился до касания с поверхностью слоя. Для первого варианта формирование микрорельефа покрытия происходило по вершинам выступов, на глубину амплитуды колебаний индентора. В том случае если высота микронеровностей профиля не превышает амплитуду вибрации УЗ инструмента, происходит равномерное выглаживание поверхности слоя (рисунок 6 б). Для второго варианта обработки, результат которого представлены на рисунке 6 в, часть покрытия, которая находится выше нулевой линии, срезается или размазывается по поверхности покрытия в зависимости от пластичности материала. Эффект размазывания наиболее сильно проявился для покрытия из меди, что обусловлено наибольшей пластичностью материала. Для покрытия из никеля (рисунок 6 в) происходит уменьшение его толщины за счет срезания части слоя, находящейся выше нулевой линии.

При исследовании микротвердости покрытий установлено (рисунок 7), что после ЭИЛ средняя твердость покрытия из ВК8 составила 12500 МПа, покрытия из меди 1000 МПа. Микротвердость никелевого покрытия составляет 7000 МПа, что объясняется закалкой железа, присутствующего в слое из-за перемешивания при обработке.

Важной особенностью БУФО является то, что при обработке покрытия, растягивающие остаточные напряжения, возникающие после ЭИЛ, компенсируются сжимающими, от БУФО. Все трещины, впадины, а так же поры и другие поверхностные дефекты структуры, образовавшиеся в процессе легирования, обминаются. Результаты исследования микротвердости слоя, после БУФО, и фотографии микрошлифов, для некоторых покрытий, представлены на рисунках 6 и 7.

Ультразвуковая обработка проводилась

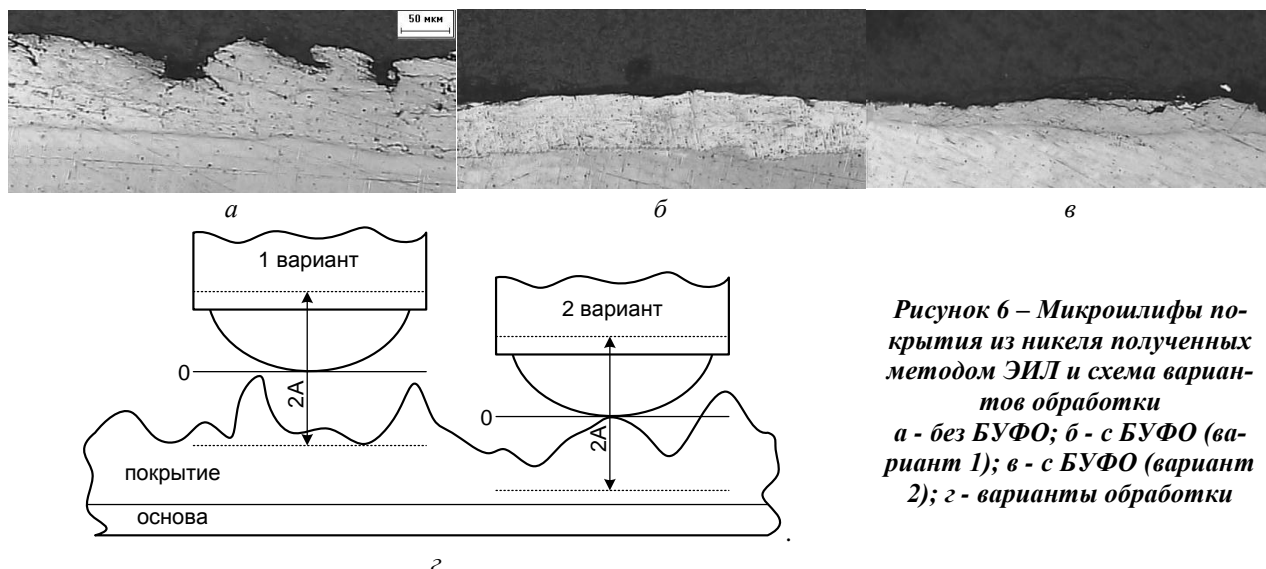


Рисунок 6 – Микрошлифы покрытия из никеля полученных методом ЭИЛ и схема вариантов обработки
 а - без БУФО; б - с БУФО (вариант 1); в - с БУФО (вариант 2); г - варианты обработки

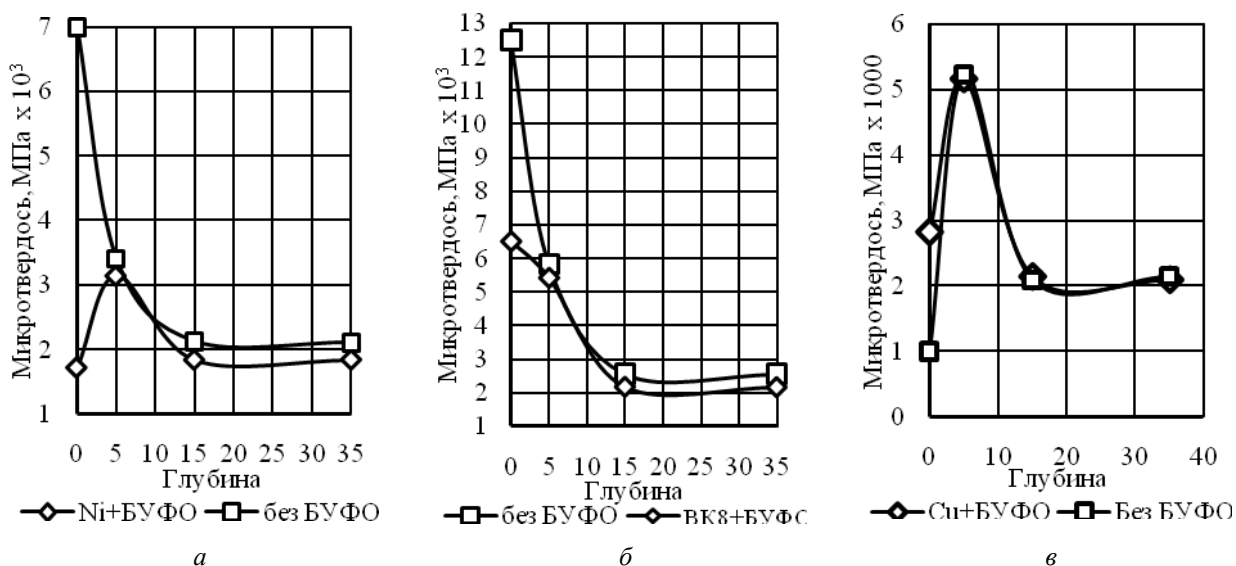


Рисунок 7 – Микротвердость покрытий полученных методом ЭИЛ с БУФО и без него - никель; б - ВК8; в - медь

После ультразвукового выглаживания твердость слоя снижается: для никеля до 1800 МПа; для ВК8 до 6500 МПа. Это объясняется тем, что ультразвуковая пластическая обработка является инициатором создания сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое, а так же способствует перераспределению остаточных напряжений во всей детали. Формирующиеся сжимающие напряжения компенсируют растягивающие напряжения после ЭИЛ, и уменьшают концентрацию напряжений возле пор, микротрещин и т. п., что ведет к увеличению коррозионно-усталостной прочности [2]. Для покрытия из Си твердость увеличивается до 3000 МПа, что происходит из-за упрочнения стали, присутствующей в покрытии из-за перемешивания, возникающего при обработке ЭИЛ. Для всех покрытий зона термического влияния (ЗТВ) имеет постоянную твердость от 3500 до 6000 МПа в зависимости от материала легирующего электрода, что объясняется диффузией углерода из основы и отсутствием перегрева в процессе обработки. Эта твердость сохраняется после воздействия БУФО.

Увеличение амплитуды колебаний повышает эффективность ультразвуковой обработки. При условии постоянной амплитуды колебаний эффективность зависит от состава и структуры материалов [5]. Пластическое деформирование с УЗ частотой можно использовать для создания на поверхностях обрабатываемых заготовок регулярных микрорельефов [4], что обеспечит повышению эксплуатационных свойств поверхностей деталей. Использование БУФО в совокупности с станком с ЧПУ позволяет обрабатывать различные формы поверхностей: цилиндрические наружные и внутренние, торцовые, конические, шаровые, выступы и радиусные канавки, а так же криволинейные поверхности с переменным профилем. При

использовании комплекта БУФО необходимо учитывать то, что с увеличением амплитуды колебаний индентора происходит снижение качества микрорельефа поверхности. В случае снижении амплитуды до 1–5 мкм становится возможным повышать качество микрорельефа без эффекта разупрочнения слоя для покрытий с высокой начальной твердостью. При этом мощность установки определяет возникающие напряжения в поверхностном слое, температуру и возможные структурные изменения металла.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика оценки микропрофиля покрытий получаемых методом ЭИЛ позволяет более точно контролировать динамику изменения микрорельефа покрытия, наступление различных стадий процесса, распределение материала по площади покрытия, а так же оценивать и сравнивать эксплуатационные характеристики получаемых покрытий;
2. С точки зрения получения более износостойкого покрытия необходимо стремиться к снижению параметров R_k и R_{pk} и увеличению длины опорной поверхности;
3. Контролируя параметры R_k , R_{pk} и R_{vk} , а так же кривую Аббота становится возможным оценивать и улучшать технологические свойства покрытий без проведения лабораторных исследований в автоматическом режиме в условиях производства;
4. Применение БУФО позволяет уменьшить значение параметров шероховатости в 8 – 10 раз, при этом происходит исправление трещин, впадины, а также пор и других поверхностных дефектов структуры, образовавшиеся в процессе легирования;
5. Применение средств автоматизации и адаптивного управления для БУФО позволяет создать регулярный микрорельеф на поверхности обрабатываемых заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ледков, Е.А. Исследование процессов стабилизации электроискровой обработки / Е.А. Ледков, В.М. Давыдов, С.Н. Химухин, А.В. Гиль // Известия ОрелГТУ. Серия фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. – №4/276 (575). – С. 63-71.
2. Киселев, Е. С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля: учебное пособие / Е.С. Киселев. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 186 с.
3. Марков, А.И. Применение ультразвука при алмазном выглаживании / А.И. Марков, А.М. Чураев, В.Н. Гасилин и др. // Вестник машиностроения. – 1973. – № 9. – С. 57 – 66.
4. Киселев, Е.С. Алмазное выглаживание стальных заготовок с использованием энергии модулированного УЗ поля / Е.С. Киселев, Д.Е. Подопригоров, Т.Г. Кириасов // Вестник УлГТУ. – 2002. – № 1. – С. 81 – 85.
5. Нерубай, М.С. Повышение эффективности механической обработки труднообрабатываемых материалов путем применения ультразвука: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук / Нерубай М.С. ; КПИ, Куйбышев. – 1989. – 35 с.
6. Самсонов, Г.В. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – Киев: Наукова думка, 1976 – 220 с.
7. Теслина, М.А. Исследование закономерностей формирования вторичных структур при электроискровой обработке медных железуглеродистых сплавов и разработка на их основе покрытий функционального назначения: дисс. ... канд. / М.А. Теслина – Хабаровск: ХНЦ ДВО РАН, 2008.
8. Бойцов, А.Г. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А.Г. Бойцов – М.: Машиностроение, 1991. – 144 с.
9. Верхотуров, А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323 с.

Ледков Евгений Александрович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
 Старший преподаватель кафедры «Технологическая информатика и информационные системы», аспирант
 Тел. (4212) 37-52-57
 E-mail: ger2001a@mail.ru

Химухин Сергей Николаевич

Институт материаловедения ДВО РАН, г. Хабаровск
 Доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник
 Тел. (4212) 37-52-57
 E-mail: ximuxin@yandex.ru

Давыдов Владимир Михайлович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
 Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технологическая информатика и информационные системы»
 Тел. (4212) 375257
 E-mail: davellut@mail.ru

УДК 621.09.047

Е.В. СМОЛЕНЦЕВ

ДОВОДКА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ

Комбинирование воздействий в обработке деталей машин позволяют создать новые, высокопроизводительные технологические процессы, в том числе, и при чистой обработке и восстановлении эксплуатационных качеств зубчатых колес. В статье дается описание таких способов, запатентованных автором и внедренных на производстве.

Ключевые слова: комбинированные методы, доводка поверхностей, зубчатые колеса.

A combination of influences in processing machine parts makes it possible to create new and very efficient technological processes even when the final processing is carried out and the tooth gear performance is restored. The article shows such processes which were patented and are now used in mechanical engineering.

Key words: combined methods, finishing of active faces, tooth gears.

Комбинированные методы – это одно из новейших направлений исследований в области металлообработки, представляющее собой комбинирование различных воздействий на материал. Такой подход позволяет создавать новые способы обработки, превосходящие известные по многим параметрам. На практике уже разработано более 20 видов комбинированных технологий, а в теории их число может достигнуть более 800.

При проектировании новых методов формообразования могут учитываться следующие методы взаимодействий:

- механическое (постоянное и импульсное), свойственное большинству процессов резания лезвийным и абразивным инструментом, механическому упрочнению гранулами и раскатниками; ультразвуковой обработке по схеме размерного формообразования и путем интенсификации существующих процессов;

- тепловое, связанное с локальным нагревом поверхности обрабатываемого материала;
- химическое, в основе которого лежат химические реакции, протекающие без тока или под действием тока, в частности за счет микротоков между структурными составляющими сплава (например, при коррозии), которые могут оказывать влияние на качество поверхности детали;

- магнитное, где поле воздействует на заготовку или режущий инструмент.
- ядерное, при котором производится облучение заготовки, что изменяет структуру и свойства материалов на уровне атомов.

Каждый вид воздействий позволяет изменить технологические показатели процесса обработки как в сторону улучшения так и снижения требуемого уровня. Однако прямое суммирование воздействий не дает желаемого результата, т.к. при их комбинации проявляется взаимное влияние составляющих, что может привести к неожиданным технологическим явлениям. Например, при эрозионно-химическом шлифовании, где объединены механическое, тепловое, химическое воздействия, производительность процесса возрастает до 5 раз по сравнению с суммарной скоростью при отдельной обработке механическим, электроэрозионным шлифованием, электрохимической размерной обработкой. Здесь очевидно проявление полезного эффекта на анодное растворение механической депассивации и эрозионной интенсификации процесса за счет возрастания массовыноса из межэлектродного пространства.

Алгоритм проектирования комбинированной обработки включает анализ возможностей каждого вида воздействий по обеспечению технологических показателей комбинированного процесса. В качестве исходных данных учитывают требования по точности, качеству поверхности, производительности, потреблению ресурсов, возможность их достижения при отдельных воздействиях на объект. Первичный подбор видов воздействий проводится по критерию достижения одного или нескольких показателей при обработке. Наибольшую сложность представляет учет взаимного влияния воздействий, что пока слабо изучено.

В Воронежском государственном техническом университете были запатентованы способы комбинированной электроэрозионнохимической доводки зубчатых передач [4,5]. Они позволяют выполнять чистовую обработку зубьев колес, убирая дефекты от предшествующих этапов, такие как неточность профиля и заусенцы. На рисунке 1 представлена схема доводки зубчатых колес.

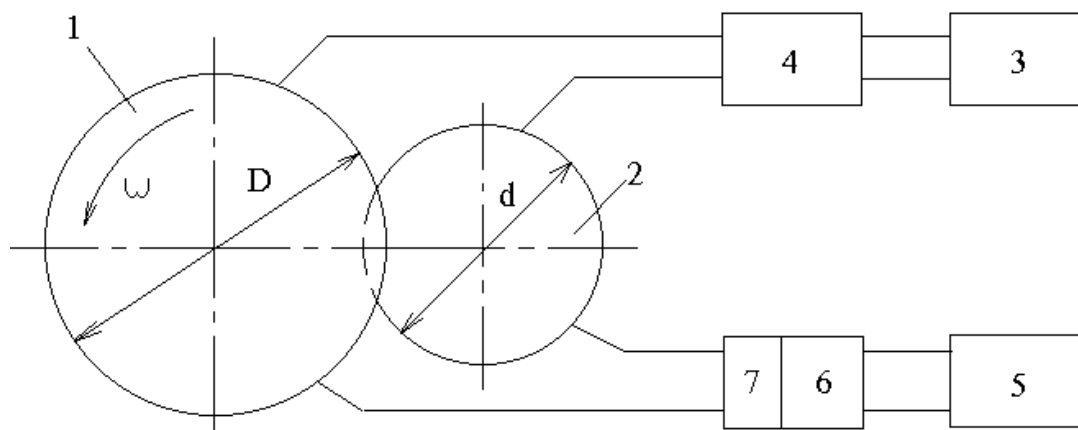


Рисунок 1 – Схема доводки зубчатых колес

Способ осуществляется следующим образом. Ток от генератора 3 подают на зубчатое колесо большего диаметра 1 и на зубчатое колесо меньшего диаметра 2 через регулятор тока 4. Положительный полюс подключен к колесу большего диаметра, при этом колесо меньшего диаметра является инструментом. Ток от генератора 5 поступает через переключатель полярности 6 на зубчатые колеса 1 и 2 и контролируется прибором для измерения количества электричества 7. Положительный полюс обоих генераторов 3 и 5 подключают на зубчатое колесо большего диаметра 1. Включают вращение зубчатых колес 1 и 2 в паре и оба генератора 3 и 5. Обработку ведут до стабилизации показаний амперметра на электрохимическом генераторе 5, то есть до получения нулевого градиента тока. Это показывает, что площадь контакта всех зубьев одинакова и степень контакта наибольшая, то есть достигнута доводка зубьев по профилю. Затем отключают электроэрозионный генератор 3, оставляя только электрохимический генератор 5. Переключают полярность переключателем 6 электрохимического генератора 5 так, чтобы колесо меньшего диаметра 2 стало анодом. При этом колесо большего диаметра становится инструментом. Обрабатывают колесо меньшего диаметра 2 до удаления лунок от электроэрозионной обработки. Затем переключают полярность и ведут обработку в течении времени, при котором количество электричества от электрохимического генератора 5 будет пропорциональным соотношению колеса меньшего диаметра 2 и колеса большего диаметра 1.

Особенностью способа является использование в качестве инструмента и заготовки зубчатых колес передачи.

В процессе комбинированной доводки зазор между поверхностями зубьев очень мал, то есть необходимо понизить напряжение до такой величины, чтобы исключить возможность коротких замыканий. В то же время напряжение должно быть выше некоторого предела, чтобы компенсировать потери в зажимах и токоведущих шинах, в двойном электрическом слое, при прохождении тока через заготовку. По [1] средняя величина потерь составляет 2...5 В. Кроме того из [1] известно, что потери напряжения в приэлектродных слоях зависят от состава рабочей среды, межэлектродных зазоров и при снижении напряжения на электродах до уровня потерь короткие замыкания становятся не возможными. Однако в этом случае может прекратиться съём материала. Анализ литературных источников показывает, что при межэлектродных зазорах более 0,1 мм нижний предел рабочего напряжения не превышает 4 В. В то же время при электроабразивном шлифовании [3] процесс съема протекает устойчи-

во в случае подачи более низких напряжений при зазорах близких к нулевым. Это позволяет применить при доводке профиля изношенных передач токи с изменяемой полярностью при напряжении до 4 В. Такие токи при кратковременном протекании не вызывают активного разрушения подшипников, поэтому процесс можно осуществлять при рабочем положении зубчатых передач.

К недостатку данного способа относится появление боковых зазоров в зацеплении, что не допустимо для реверсивных передач, так как вызывает ударные нагрузки при изменении направления вращения.

Ограничения приведённого выше метода преодолевает разработанный и запатентованный соискателем способ восстановления профиля зубчатых колёс (патент № 2284253 РФ).

Изобретение относится к области машиностроения и может быть использовано при восстановлении зубчатых реверсивных передач с беззазорным зацеплением.

Изобретение направлено на восстановление точности профиля и устранение боковых зазоров зубчатых реверсивных передач.

Это достигается тем, что перед установкой кондиционного и изношенного колёс в рабочее положение на кондиционное колесо наносят слой титана на величину не более допуска на профиль зуба с последующей пассивацией, на изношенное колесо при вращении с реверсированием через каждый оборот наносят гальваномеханическое покрытие при торможении одного из колёс, в момент реверса регистрируют наличие бокового зазора между рабочими профилями в зацеплении передачи, а осаждение покрытия производят до устранения бокового зазора.

На рисунке 2 показана схема осуществления способа.

Кондиционное зубчатое колесо 1 с покрытием 2 титаном установлено в рабочем положении с изношенным колесом 3 в ванну со стандартным электролитом 4. На зубчатые колеса 1 и 3 подается постоянный ток от генератора (не показан) с отрицательным полюсом на изношенном колесе 3. Колесо 1 имеет привод (не показан) с возможностью вращения его в направлениях 5 по командам от регулятора реверса 6. На колесе 3 установлен тормоз 7 с регулятором 8 контактного давления между зубьями зубчатых колёс 1, 3. Боковой зазор 9 регистрируется датчиком 10, который соединен с выключателем процесса нанесения покрытия 11.

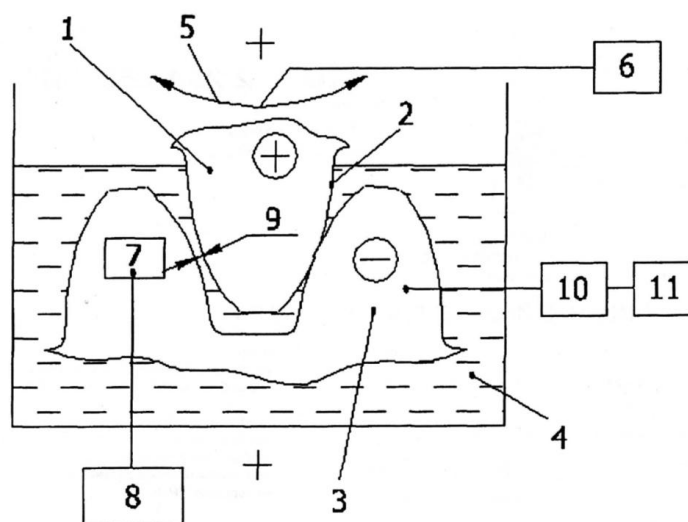


Рисунок 2 – Схема способа восстановления профиля зубчатых колёс

Способ осуществляют следующим образом. На кондиционное колесо 1 наносят гальванически или напылением слой титана 2 с толщиной, обеспечивающей сплошное покрытие рабочего профиля зубьев, но не более допуска на профиль зуба, после чего пассивируют поверхность покрытия по специальной технологии. Это позволяет сохранить токоподвод к колесу 1, но не исключает его растворение и нарушение качества поверхностного слоя. Колеса 1 и 3 устанавливают в рабочее положение на установке, подключают, например, гибким про-

водником к источнику постоянного тока с отрицательным полюсом на изношенном колесе 3, наливают в установку стандартный электролит, подключают привод с возможностью реверсивного вращения 5 колеса 1. В момент переключения вращения (при реверсировании) сопротивление вращению возрастает за счет инерционных сил, что фиксируется регулятором 8. В процессе нанесения на колесо 3 покрытия зазор 9 снижается, поэтому требуется его фиксация регулятором 8 при минимальном интервале между измерениями. Таким минимальным интервалом является полный оборот колеса большего диаметра, что определяет период реверса. Устанавливают на регуляторе 8 величину давления между зубьями по [2]. Регулятор 8 передает команду на тормоз 7, установленный на колесе 3. Включают ток на колеса 1 и 3, реверсивное вращение колеса 1. В момент переключения направления вращения регулятором 6 при наличии между зубьями зазора 9 движение колеса 1 ускоряется, что фиксируется датчиком 10. По мере нанесения на рабочий профиль колеса 3 слоя гальваномеханического покрытия, например хрома, величина зазора 9 будет снижаться до плотного прилегания рабочих поверхностей зубьев при обоих направлениях вращения колес 1 и 3. При устранении бокового зазора 9 датчик 10 подает команду выключателю 11 на прекращение процесса осаждения покрытия на колесо 3. Далее отключают колеса 1, 3 от источника тока, снимают тормоз 7, датчик 10 с выключателем 11, регуляторы 6, 8, вынимают зубчатую передачу из ванны установки, промывают ее и ставят в корпус передачи. Покрытие 2 на колесе 1 не удаляется, так как оно улучшает эксплуатационные характеристики передачи (исключает схватывание металла в местах контакта силовых передач, может защищать от коррозии).

Исследования, проводимые при поддержке Гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых кандидатов наук, позволили разработать технологический процесс восстановления беззазорных зубчатых передач с управлением по патенту 2284253. Восстановление таких передач практически исключило замену зубчатых колес с нормальным износом и на несколько порядков сократило простой оборудования, механизмов. Особые перспективы способны иметь при восстановлении зарубежной техники (в том числе транспортной), поступившей в Россию в последние десятилетия, где многие узлы содержат передачи, не выпускаемые отечественным машиностроением, их замена требует больших средств и остановку технологических процессов на длительный срок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: В 2 т./ Под ред. В.П. Смоленцева. М.: Высшая школа, 1983.
2. Жачкин, С.Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей / С.Ю. Жачкин. – Воронеж: ВГТУ, 2002. – 138 с.
3. Бердник, В.В. Шлифование токопроводящими кругами с наложением электрического поля / В.В. Бердник К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 124 с.
4. Патент №2242335(РФ). Способ доводки рабочего профиля зубчатых колес и устройство для его реализации / Смоленцев Е.В. // Бюл., 2004. №35. 5 с.
5. Патент № 2183150(РФ). Способ электроэрозионно-химической доводки зубчатых колес / Смоленцев Е.В. // Бюл., 2002. №16. 5 с.
6. Патент № 2284253 РФ В23Р. Способ восстановления профиля зубчатых колес / Смоленцев Е.В., Тишин В.В. // Бюл. № 27, 2006, 5 с.
7. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки / Е.В. Смоленцев. – М.: Машиностроение, 2005. – 511 с.

Смоленцев Евгений Владиславович

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж

Кандидат технических наук, доцент

Тел. (910)746-40-75

E-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

МАШИНЫ, АППАРАТЫ, ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 658.562

Е.В. ГАТИЛОВА, А.Г. ИВАХНЕНКО

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДОК НА ЭТАПЕ ИХ РОЗЛИВА

Данная статья посвящена контролю качества водок на этапе их розлива. В ней рассмотрено, каким образом контроль качества водок на данном производственном этапе влияет на уровень их качества и помогает избежать появления на предприятии бракованной продукции.

Ключевые слова: контроль, качество, продукция.

This article covers vodka quality control on a stage of bottling. It is considered in it how vodka quality control influences on quality level on this stage and helps to avoid spoilage in production.

Key words: control, quality, production.

Рост качества выпускаемой продукции в настоящее время является наиболее характерной чертой работы предприятий в промышленно развитых странах. В условиях насыщенного рынка и преобладающей неценовой конкуренции именно высокое качество продукции служит главным фактором успеха предприятия и по праву относится к важнейшим критериям его деятельности. Исследования, проведенные в ряде стран, показали, что на предприятиях, мало уделяющих внимание качеству, до 60% рабочего времени может уходить на исправление брака, поэтому в настоящее время управление качеством выпускаемой продукции является одной из самых важных задач менеджмента на предприятии.

Особое место в управлении качеством выпускаемой продукции занимает контроль ее качества. Именно контроль качества как эффективное средство достижения намеченных целей и важнейшая функция управления качеством способствует правильному использованию объективно существующих, а также созданных человеком предпосылок и условий для выпуска продукции высокого качества. От степени совершенства контроля качества, его технического оснащения и организации во многом зависит эффективность производства в целом.

Данная статья посвящена контролю качества водок на этапе их розлива. В ней рассмотрены, проблемы, которые могут возникнуть на этапе розлива водки и, каким образом контроль ее качества на данном производственном этапе помогает предотвращать появление бракованной продукции.

В соответствии с ГОСТ Р 51355-99 основными качественными показателями водок и водок особых являются:

- органолептические показатели (внешний вид, цвет, вкус и аромат);
- физико-химические показатели (крепость, (%); щелочность – объем соляной кислоты концентрации C (HCL) = 0,1 моль/дм³, израсходованный на титрование 100 см³ водки (см³, не более); массовая концентрация уксусного альдегида в 1 дм³ безводного спирта (мг, не более); массовая концентрация сивушного масла (1-пропанол, 2-пропанол, спирт изобутиловый, 1-бутанол, спирт изоамиловый) в 1 дм³ безводного спирта (мг, не более); массовая концентрация сложных эфиров (метилацетат, этилацетат) в 1 дм³ безводного спирта (мг, не более); объемная доля метилового спирта в пересчете на безводный спирт (%; не более);
- упаковка (полнота налива продукции в бутылки, герметичность укупорки бутылок, укладка потребительской тары с продукцией в ящики, короба и другую тару, обеспечивающую сохранность продукции) и маркировка [1].

На ликероводочных заводах контролем технологических процессов, а также качественных показателей водок на всех этапах их производства занимаются сотрудники ПТЛ

(производственно-технологической лаборатории).

Производственный этап расфасовки изделий и их оформления (этап розлива) ежедневно (не менее двух раз в смену) контролирует инженер по качеству ПТЛ. В соответствии с требованиями, установленными Производственным технологическим регламентом на производство водок и ликероводочных изделий ПТР 10-12292-99, инженер по качеству ПТЛ осуществляет контроль следующих стадий данного производственного этапа:

- мойка бутылок. Контролируется качество работы бутыломоечной машины (при использовании оборотной стеклопосуды) или качество работы ополаскивателя внутренней поверхности бутылок (при использовании новой стеклопосуды). При работе бутыломоечных машин контролируются: температурный режим бутыломоечных машин, °С; давление в устройствах для внутреннего шприцевания, МПа; давление в устройствах для наружного обмыва, МПа; концентрация моющего раствора (каустической соды), %; полнота смыва моющего раствора с поверхности. При работе ополаскивателя внутренней поверхности бутылок контролируются: напор струи жидкости для ополаскивания, подаваемый в бутылку; содержимое бака ополаскивателя; своевременность замены жидкости для ополаскивания в баке ополаскивателя бутылок; своевременность замены фильтрующего элемента, расположенного в ополаскивателе бутылок и используемого для очищения жидкости для ополаскивания, перед ее подачей из бака ополаскивателя в бутылки;

- расфасовка изделий (перед укупоркой) на разливочном автомате. Контролируются крепость разливаемого изделия (%) и предельные отклонения при розливе продукции (полнота налива продукции в бутылки);

- укупорка. Контролируется герметичность укупорки бутылок;

- этикетирование. Контролируются расстояние основной этикетки, наклеенной на цилиндрическую часть бутылки, от горизонтальной поверхности дна (см); расстояние кольеретки (при ее наличии), наклеенной на плечики бутылки, от верхнего края основной этикетки (см); расстояние контрэтикетки, наклеенной с противоположной стороны от основной этикетки выше нижнего ее края (см).

Оформленная продукция контролируется на линии розлива и на складе готовой продукции по внешнему виду (прозрачность изделия, наличие в нем посторонних включений и осадка, чистота бутылок, качество наклейки этикеток) и по герметичности укупорки бутылок [2].

Проблем с органолептическими и физико-химическими качественными показателями водок на этапе розлива, как правило, не возникает, так как все возможные отклонения этих показателей от требований ГОСТ Р 51355-99, в случае их обнаружения инженером-химиком ПТЛ при проверке водки из доводного чана (где водка доводится до полной готовности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51355-99 и рецептурой), устраняются до начала ее розлива. Инженером-химиком ПТЛ к розливу допускается только водка, полностью соответствующая по всем органолептическим и физико-химическим качественным показателям требованиям ГОСТ Р 51355-99. Однако на этапе розлива все же не исключена возможность изменения некоторых органолептических (внешний вид, аромат) и физико-химических (крепость) качественных показателей водок.

Проблема незначительного изменения такого органолептического качественного показателя водки, как ее аромат, может возникнуть на этапе розлива при невыполнении сотрудниками цеха розлива промывки автомата розлива при переходе от розлива одного изделия к розливу другого. Выполнение данной промывки является необходимым в связи с тем, что в разливных стаканчиках автомата розлива после его полного опустошения от предыдущего вида водки может остаться некоторое количество водки, разливаемой прежде, в связи с чем при начале розлива нового наименования водки первые бутылки, вышедшие из под автомата розлива, могут приобрести аромат, свойственный водке, разливаемой до этого. При этом с особой тщательностью автомат розлива необходимо промывать при переходе с розлива водок особых, обладающих ярко выраженным специфическим ароматом, на розлив классических водок, а с розлива классических водок на розлив водок особых, соответственно. В целях исключения возможности изменения аромата водки на этапе ее розлива промывку авто-

мата розлива при переходе от розлива одного изделия к розливу другого контролирует инженер по качеству ПТЛ.

На этапе розлива могут возникнуть проблемы и с таким органолептическим качественным показателем водки, как ее внешний вид. На практике это выражается в появлении в водке посторонних включений или осадка, что недопустимо в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51355-99. Посторонние включения в водке могут появляться на этапе розлива в следующих случаях:

1) когда на линии цеха розлива долгое время не работали или при ее неритмичной работе. Перед началом розлива водки на такой линии в целях исключения появления в ней посторонних включений необходимо тщательно промыть умягченной водой все коммуникации, по которым протекает водка, а также все оборудование цеха розлива, уделив особое внимание автоматам розлива и укупорки бутылок. Причем инженер по качеству ПТЛ разрешит розлив водки на такой линии лишь после того, как из-под автомата розлива начнут выходить бутылки с абсолютно прозрачной жидкостью без посторонних включений;

2) при несвоевременной замене фильтрующих элементов в каскаде фильтров финишной очистки, расположенном непосредственно перед автоматом розлива. В качестве фильтрующих элементов в ликероводочной промышленности широкое применение нашли фильтрующие элементы фирмы «PALL». В соответствии с рекомендациями этой фирмы замена фильтрующих элементов в каскаде фильтров финишной очистки должна производиться наладчиками цеха розлива тогда, когда разница перепада давления в показаниях двух манометров будет равна 2,4 бар, однако такая разница перепада давления показывается на манометрах фильтров тогда, когда один из них окончательно загрязнен. На практике же фильтрующий элемент с определенной степенью загрязненности (еще не предельной) уже начинает пропускать то или иное количество включений в водку, поэтому очень важно осуществить замену фильтрующих элементов, расположенных в каскаде фильтров финишной очистки прежде чем они начнут пропускать посторонние включения в готовую продукцию. Для того, чтобы своевременно осуществить замену фильтрующих элементов в каскаде фильтров финишной очистки, сотрудникам цеха розлива и ПТЛ необходимо определить, какое количество дал водки (1 дал = 10 л) должно пройти через установленные фильтрующие элементы, чтобы они начали пропускать в готовую продукцию посторонние включения, и на основании полученных данных осуществлять их замену;

3) при несвоевременной замене фильтрующего элемента в ополаскивателе внутренней поверхности бутылок. Сотрудникам цеха розлива и ПТЛ необходимо определить, внутренняя поверхность скольких бутылок (шт.) может быть ополоснута данным ополаскивателем бутылок при его работе на установленном в нем фильтрующем элементе до того, как этот фильтрующий элемент засорится настолько, что начнет пропускать из бака ополаскивателя бутылок в зону впрыскивания в бутылки жидкость для ополаскивания с включениями;

4) при неотлаженной работе ополаскивателя бутылок. Например, когда внутренние поверхности бутылок ополаскиваются неодинаковым или недостаточным количеством жидкости для ополаскивания или когда некоторые впрыскивающие штуцера не осуществляют впрыск, вследствие чего из ополаскивателя бутылок будут выходить не ополоснутые бутылки, внутри которых могут находиться посторонние включения (заводская стекольная пыль и т.п.);

5) включения могут попадать в водку из укупорочного колпачка, так как даже в качественных укупорочных колпачках присутствует определенный процент засоренности, допускаемый нормативной документацией на них. Чтобы минимизировать появление в готовой продукции посторонних включений, заносимых в нее из укупорочного колпачка, современные производители водок и ликероводочных изделий приобретают специальные устройства по очистке укупорочных колпачков от загрязнений. В настоящее время широкое применение на ликероводочных заводах нашли системы влажной или сухой очистки укупорочного колпачка;

б) при использовании в баке ополаскивателя бутылок в качестве жидкости для опо-

ласкивания воды жесткостью более $1,5 \text{ моль/м}^3$, так как, если из воды, используемой для ополаскивания внутренней поверхности бутылок, не удалить соли кальция и магния (соли жесткости), легко выпадающие в осадок, и ополаскивать ею внутреннюю поверхность бутылок, велика вероятность того, что на горлышке бутылок с готовой продукцией со временем образуется белое солевое кольцо или в готовой продукции выпадет осадок;

7) при не соблюдении чистоты сотрудниками цеха розлива. К работникам цеха розлива предъявляются следующие требования:

- они должны находиться на линии розлива в специальной одежде и головных уборах;
- им запрещается перекусывать на линии розлива (есть они должны в специально отведенном для этого месте);
- они должны соблюдать свое рабочее место в чистоте.

Кроме того, в цехе розлива ежедневно должна осуществляться влажная уборка помещения.

Итак, были рассмотрены возможные причины возникновения на этапе розлива водки отклонений ее органолептических качественных показателей от требований, установленных ГОСТ Р 51355-99. Теперь рассмотрим причины возникновения на этапе розлива отклонения от требований, установленных ГОСТ Р 51355-99, такого важного физико-химического качественного показателя водки, как ее крепость.

Проблема раскрепления водки (понижения ее крепости) может возникнуть на этапе розлива из-за несоблюдения сотрудниками цеха розлива эксплуатационных характеристик или превышения рабочих значений оборудования, используемого при розливе.

Например, проблема раскрепления водки, идущей с линии розлива, может возникнуть, если при длительных остановках на линии не будет отключен вакуумный насос автомата розлива (это касается только тех моделей автоматов розлива, которые используют при работе вакуумный насос, создающий в разливном блоке автомата розлива вакуумное разрежение). Чтобы понять, каким образом при длительных остановках на линии под влиянием включенного вакуумного насоса происходит раскрепление водки в разливном блоке автомата розлива данного образца, необходимо разобраться в принципе работы данного оборудования. Разливной блок автомата розлива данного образца разделен на две части: в нижней находится водка, предназначенная к розливу, а в верхней при помощи вакуумного насоса создается вакуумное разрежение. Вакуумный насос создает в разливном блоке автомата розлива вакуумное разрежение для того, чтобы через трубки, расположенные в стержнях разливных стаканчиков, быстро вытягивать из бутылок атмосферный воздух и за счет разности давления ускорять процесс заполнения их водкой. Атмосферный воздух, вытягиваемый из бутылок через эти трубки, отводится из разливного блока автомата розлива по специально предназначенной для этого трубе. При непрерывной работе автомата розлива и постоянном автоматическом пополнении его новой порцией водки вакуумный насос не успевает раскреплять водку, находящуюся в разливном блоке автомата розлива. Однако при длительной остановке работы автомата розлива при включенном вакуумном насосе процесс постоянного вытягивания атмосферного воздуха из бутылок и заполнения их водкой прерывается и происходит уже не только вытягивание атмосферного воздуха из окружающей среды, но и постепенное вытягивание летучих спиртов из водки, находящейся в разливном блоке автомата розлива, следствием чего является понижение ее крепости. Поэтому, при длительных остановках на линии розлива в целях исключения возможности раскрепления водки, находящейся в разливном блоке автомата розлива, необходимо отключать вакуумный насос автомата розлива данного образца.

Кроме того, раскрепление водки в разливном блоке автомата розлива данного образца может происходить при его работе при вакуумном разрежении, создаваемом вакуумным насосом автомата розлива, превышающем его нормальные рабочие значения. За тем, чтобы раскрепление водки не происходило по указанным выше причинам, должны следить наладчики цеха розлива, которые обязаны отлаживать работу оборудования в соответствии с его эксплуатационными характеристиками.

Описанные выше причины раскрепления водки, идущей с линии розлива, исключаются при использовании в цехе розлива автомата розлива, работающего без применения вакуумного насоса.

Кроме того, раскрепление водки, идущей с линии розлива, может произойти из-за несвоевременной замены в баке ополаскивателя бутылок водно-спиртовой жидкости (при использовании в качестве жидкости для ополаскивания внутренней поверхности бутылок водно-спиртовой жидкости крепостью 40%) или же из-за недостаточного отека стекла посуды после ее ополаскивания умягченной водой (при использовании умягченной воды в качестве жидкости для ополаскивания).

На современных ликероводочных заводах уходят от оборотной стеклопосуды и бутылочных машин, и все чаще работают на новой стеклопосуде, ополаскиваемой умягченной водой или водно-спиртовой жидкостью при помощи ополаскивателя бутылок. Таким образом, производители повышают качество готовой продукции и снижают трудоемкость подготовки стеклопосуды к розливу, заменив длительный процесс мойки оборотной стеклопосуды в бутылочных машинах более простым процессом ополаскивания внутренней поверхности новых бутылок умягченной водой или водно-спиртовой жидкостью. В цехах розлива с высокой производительностью в качестве жидкости для ополаскивания рекомендуется использовать водно-спиртовую жидкость крепостью 40%, чтобы исключить некоторую потерю крепости водки, идущей с линии розлива, при использовании умягченной воды в качестве жидкости для ополаскивания, так как в производственном потоке бутылки быстро ополаскиваются, переворачиваются и из них вытекает не вся жидкость для ополаскивания: небольшое количество ее остается в бутылках ($\approx 1,5 - 2$ мл). Очевидно, что, если в бутылках будет оставаться некоторое количество умягченной воды, не исключена возможность того, что оно повлияет на крепость разливаемого изделия. Таким образом, при высокой производительности цеха розлива в целях исключения раскрепления водки на этапе ее розлива за счет того, что в бутылках после их ополаскивания остается некоторое количество жидкости для ополаскивания, в бак ополаскивателя бутылок рекомендуется заливать не умягченную воду, а водно-спиртовую жидкость крепостью 40%.

При работе ополаскивателя внутренней поверхности бутылок крепость водно-спиртовой жидкости в его баке постепенно уменьшается, поэтому в целях исключения понижения крепости водки, идущей с линии розлива, необходимо своевременно осуществлять замену отработанной водно-спиртовой жидкости в баке ополаскивателя бутылок на новую. В соответствии с инструкцией по приготовлению и использованию водно-спиртового раствора для ополаскивания внутренней поверхности новой стеклопосуды, водно-спиртовая жидкость, крепость которой за время работы снижается с 40% до 32%, подлежит замене на новую водно-спиртовую жидкость крепостью 40%. Причем, через каждые 40 часов работы ополаскивателя бутылок необходимо производить полную замену водно-спиртовой жидкости для ополаскивания.

Итак, в цехах розлива с достаточно высокой производительностью нежелательно использовать для ополаскивания бутылок умягченную воду, однако ее можно использовать в цехах розлива с маленькой производительностью, где стеклопосуда успевает высохнуть или хотя бы хорошо оттекать перед ее заполнением разливаемым изделием. Например, в цехах розлива сувенирной продукции, так как объемы розлива в них обычно невелики ввиду того, что сувенирная продукция не нужна потребителю в таком объеме, как водка в обычном оформлении. В этих цехах ополоснутую стеклопосуду устанавливают вниз горлышками в пластмассовые ящики для того, чтобы она как следует оттекала перед ее заполнением готовым изделием.

Все указанные выше проблемы с отклонением органолептических и физико-химических качественных показателей водок от требований ГОСТ Р 51355-99 возникают на этапе розлива лишь при нарушении сотрудниками цеха розлива требований, установленных для данного производственного этапа (отсутствие необходимой промывки автомата розлива от предыдущего изделия; несвоевременная замена жидкости для ополаскивания и фильт-

рующего элемента в ополаскивателе внутренней поверхности бутылок; несвоевременная замена фильтрующих элементов, расположенных в каскаде фильтров финишной очистки; несоблюдение чистоты сотрудниками цеха), или же из-за неправильной эксплуатации ими оборудования линии розлива (несоблюдение эксплуатационных характеристик и превышение рабочих значений оборудования). Однако на этапе розлива может также возникнуть проблема, в появлении которой виноватыми могут оказаться не только сотрудники цеха розлива, но и сотрудники ПТЛ. Эта проблема – несоответствие полноты налива продукции в бутылках требованиям ГОСТ Р 52194-2003.

Полнота налива продукции в бутылки является одним из важнейших качественных показателей водок и водок особых, регламентированных ГОСТ Р 52194-2003 и строго проверяемых контролирующими органами. В соответствии с требованиями пункта 3.2.2 ГОСТ Р 52194-2003 «Водки и водки особые. Изделия ликероводочные. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение» при розливе продукции по объему или по уровню среднее значение фактического объема (среднее содержимое) 20 бутылок при температуре $(20 \pm 0,5)$ °С, отобранных от партии для определения полноты налива при проверке на предприятии-изготовителе, должно быть не менее (равняться или превышать) номинального объема продукции, указанного на этикетке [3].

Итак, розлив продукции может осуществляться по объему или по уровню. В настоящее время на ликероводочных заводах предпочтение отдается розливу продукции по уровню, так как этот вид розлива позволяет получать продукцию более привлекательную для потребителя по сравнению с продукцией, разлитой по объему, потому что при розливе по объему бутылки от одной партии наполнены изделием на разном уровне, хотя во всех них на самом деле налита норма водки, и у потребителя создается впечатление, что в одних бутылках ее налили столько, сколько указано на этикетке, а в других в целях экономии ее налили меньше, чем положено. При розливе водки по объему разный уровень налива в бутылках от одной партии получается из-за того, что в нормативной документации на стеклопосуду, используемую при розливе, заложены большие допуски (например, «минус» 5; «плюс» 10 мл) на показатель полной вместимости стеклопосуды от которого напрямую зависит показатель ее номинальной вместимости по уровню заполнения. Показатель полной вместимости стеклопосуды зависит в основном от толщины стенок бутылок, так как высота бутылок достаточно стабильна и практически не оказывает влияния на данный показатель. Чтобы достигнуть полноты налива продукции, указанной на этикетке, в те бутылки, где толщина стенок больше, а, соответственно, полная вместимость меньше, необходимо налить водку на более высоком уровне, чем в те бутылки, у которых толщина стенок меньше, а полная вместимость больше. При розливе продукции по объему использование стеклопосуды нестабильной по показателям полной вместимости и номинальной вместимости по уровню заполнения обычно не составляет проблемы для производства, так дозаторы автомата розлива наливают в каждую бутылку необходимое количество изделия, не обращая внимания на уровень налива в них. Правда, при розливе продукции по объему проблему может составить партия стеклопосуды, пришедшая на завод на нижнем пределе показателя полной вместимости, заложенном в нормативном документе на нее, в связи с чем разливаемое изделие будет наливаться в бутылки данной партии стеклопосуды выше середины венчика ее бутылок, что не рекомендуется делать. Таким образом, показатель полной вместимости стеклопосуды все же важен при розливе продукции по объему, тогда как показатель номинальной вместимости по уровню заполнения для данного вида розлива не играет никакой роли. При розливе же продукции по уровню использование стеклопосуды, нестабильной по показателям полной вместимости и номинальной вместимости по уровню заполнения, практически всегда оборачивается серьезной производственной проблемой – невозможностью выставить оптимальный уровень налива продукции в бутылки, т.е. такой уровень налива, который обеспечит соответствие партии готовой продукции требованиям ГОСТ Р 52194-2003 по полноте налива продукции в бутылки и не приведет начальника цеха розлива к сверхнормативным тратам.

Так как чаще всего современные ликероводочные заводы осуществляют розлив про-

дукции по уровню, уделим этому принципу розлива отдельное внимание. Для розлива продукции по этому принципу используются автоматы розлива, характеризующиеся рабочим циклом, который может изменяться как с точки зрения скорости работы, так и с точки зрения форматов используемых бутылок. Уровень для определенного вида бутылки выставляется на этих автоматах с помощью резиновых или силиконовых деталей (резиновых или силиконовых колец), надетых на стержни разливных стаканчиков автомата розлива.

Под каждый вид посуды уровень налива продукции в бутылку настраивается при помощи определенного набора резиновых деталей разной толщины. При этом на стержнях всех разливных стаканчиков автомата розлива должен быть надет одинаковый набор резиновых деталей, так как только в этом случае можно добиться одинакового уровня налива продукции во всех бутылках, выходящих из-под автомата розлива.

Если требуется наполнение бутылок до более высокого уровня, следует поставить резиновую деталь с большей толщиной, чтобы достичь в бутылке требуемого уровня (более высокого), если же требуется понизить налив продукции в бутылку, необходимо заменить более толстую резиновую деталь на более тонкую, чтобы достичь в бутылке требуемого уровня (более низкого).

Основными причинами возникновения на этапе розлива несоответствия полноты налива продукции в бутылки требованиям ГОСТ Р 52194-2003 являются:

- попытка начальника цеха розлива как материально ответственного лица сэкономить абсолютный алкоголь (безводный спирт) через недолив продукции в бутылки, для чего он может одеть на стержни разливных стаканчиков автомата розлива тот набор резиновых деталей, который обеспечит ему недолив продукции в бутылки. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы за полнотой налива продукции в бутылки не менее двух раз в смену следил инженер по качеству ПТЛ. Начальники цехов розлива боятся выявления недолива в разливаемой ими продукции, так как при его выявлении инженер по качеству ПТЛ останавливает линию розлива, заставляет наладчиков цеха розлива поднимать уровень налива до необходимого в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52194-2003 и забраковывает ту готовую продукцию, которая прошла в отпускной цех с недоливом. Нельзя забывать и о том, что начальник цеха розлива, преследуя цель экономии абсолютного алкоголя, может пойти на ухищрение: уменьшить налив продукции в бутылки, лишь после того как инженер по качеству ПТЛ, проконтролировав работу цеха, уйдет из него. В данном случае в недоливе продукции в бутылку виноваты будут сотрудники цеха розлива. Для того, чтобы начальник цеха розлива остерегался осуществлять подобные нарушения, инженер по качеству ПТЛ должен приходить в цех розлива с проверкой внезапно. Отметим, что ситуации с умышленным недоливом продукции в бутылки практически исключены в цехах розлива, начальниками которых являются порядочные и ответственные люди, радеющие за качество выпускаемой ими продукции;

- некачественный входной контроль стеклопосуды. Например, когда инженер по входному контролю ПТЛ принимает на завод партию стеклопосуды, нестабильной по показателю полной вместимости и не оповещает об этом начальника цеха розлива и инженера по качеству ПТЛ, а лишь дает заключение о том, что стеклопосуда является годной в соответствии с нормативным документом на нее, хотя он обязан довести до сведения всех заинтересованных в качестве этой стеклопосуды лиц о ее стабильности по показателю полной вместимости, а при розливе продукции по уровню еще и о среднем значении показателя номинальной вместимости по уровню заполнения. В данном случае в недоливе продукции в бутылки виноваты будут уже не сотрудники цеха розлива, а сотрудники ПТЛ (в частности, инженер по входному контролю ПТЛ). На рисунке 1 приведен пример стеклопосуды нестабильной по показателям полной вместимости и номинальной вместимости по уровню заполнения).



Рисунок 1 – Две бутылки одного производителя, наименования и одной номинальной вместимости (0,5 л), на которых черным маркером отмечен уровень налива (при температуре водки 20°C), обеспечивающий необходимую полноту налива продукции в эти бутылки

Если инженер по качеству ПТЛ, не оповещенный инженером по входному контролю ПТЛ о нестабильности стеклопосуды, принятой на завод, по показателям полной вместимости и номинальной вместимости по уровню заполнения, узнал об этой нестабильности лишь во время розлива, он должен предотвратить несоответствие отдельных бутылок партии требованиям ГОСТ Р 52194-2003 путем оперативного выставления такого среднего уровня налива, который обеспечил бы некоторый перелив изделия в бутылки (например, в среднем по результатам измерения 20 бутылок этот перелив может составить «плюс» 2 мл), перекрыв тем самым недолив водки в отдельных бутылках партии.

Таким образом, можно утверждать, что эффективный контроль качества водок на этапе их розлива в большинстве случаев позволяет осуществлять своевременное и целенаправленное воздействие на уровень их качества, предупреждать всевозможные недостатки и сбои в работе цеха розлива, а также обеспечивать их оперативное выявление и устранение с наименьшими затратами ресурсов предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51355-99 Водки и водки особые. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 1999. 4 с.
2. Производственный технологический регламент на производство водок и ликеро-водочных изделий ПТР 10-12292-99. М.: 1999. 296 с.
3. ГОСТ Р 52194-2003 Водки и водки особые. Изделия ликероводочные. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение. М.: Госстандарт России, 2003. 5 с.

Гатилова Елена Вадимовна

Курский государственный технический университет, г. Курск
Аспирант кафедры «Управление качеством, метрология и сертификация»
Тел. (4712) 57-81-12
E-mail: elena-v-gatilova@mail.ru

Ивахненко Александр Геннадьевич

Курский государственный технический университет, г. Курск
Доктор технических наук, профессор, проф. кафедры «Управление качеством, метрология и сертификация»
Тел. (4712) 32-61-00
E-mail: ivakhnenko2002@mail.ru

УДК 687.174:[331.45: 621

А.А. ПАВЛОВСКАЯ, Т.В. КВАСКОВА, Г.В. МАШКЕЙ

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ РАБОТЫ С ЯДОХИМИКАТАМИ

Разработана модель специальной защитной одежды для работ с сельскохозяйственными пестицидами с улучшенными гигиеническими и эксплуатационными свойствами за счет рациональной конструкции, использования материалов фильтрующего и изолирующего типа.

Ключевые слова: Пестициды, специальная одежда, гигиенические свойства, защитная эффективность, рациональная конструкция, оптимизация пододежного микроклимата.

This article consider a model with a special protective clothing for work with agricultural pesticides, with improved hygiene and service properties through rational design, using of filtering materials and insulation type.

Key words: pesticides, special clothing, hygiene, protective efficacy, rational design, optimization underclothing microclimate.

Проведенные исследования по гигиенической оценке условия труда и расчета риска для работающих при применении более 300 препаратов, в том числе гербицидов, инсектицидов, фунгицидов и т.д., показали, что при всех способах технологического применения пестицидов возможность их комплексного поступления в организм определяется, главным образом, экспозицией на коже, поэтому разработка специальной одежды для этих видов работ остается одной из самых актуальных проблем.

Гигиеническое нормирование, разработка и постановка на производство средств индивидуальной защиты для работ с сельскохозяйственными агрохимикатами эффективно проводилось в 80 – 90 годы прошлого века как за рубежом, так и ведущими НИИ СССР. Тем не менее, проведенный информационный поиск показывает, что в настоящее время специальная ядозащитная одежда в России не производится. Поступающая из – за рубежа специальная одежда из нетканых материалов разового пользования в силу своей дороговизны экономически недоступна отечественному потребителю.

При системном подходе к защите кожных покровов работников специальная одежда рассматривается как сложный целостный элемент такой защиты. При этом необходимо как можно более тщательно оценивать и учитывать все возможные пути проникновения токсичных веществ на кожные покровы работника. С одной стороны через ткани, из которых изготовлена одежда, с другой – через швы, конструктивные элементы, неплотности прилегания одежды на тех или иных участках тела, с учетом антропометрических показателей, которые могут быть статическими и динамическими, в зависимости от вида выполняемой работы. При этом должен быть проработан вопрос и детоксикации одежды после каждого рабочего дня.

С учетом накопленного опыта, признано целесообразным, провести комплексные исследования в этом направлении.

Работа велась в несколько этапов. Была разработана конструкция специальной одежды (комбинезона) с учетом специфики выполнения производственных операций. Предложен комбинезон (рисунок 1), сочетающий в себе текстильные материалы фильтрующего и изолирующего типа максимально обеспечивающие защиту кожных покровов и пододежного пространства от попадания пестицидов препаративных и производственных форм.

Комбинезон позволяет защитить кожные покровы работника в наиболее уязвимых местах: лба – при помощи козырька; шеи – при помощи пристегивающегося капюшона и кокетки, изготовленной из специального непроницаемого материала и вплотную, прилегающую к горловине. Для удобства проведения детоксикации наиболее загрязняемых участков в области предплечья и коленей предусмотрены съемные усилительные накладки (заштрихованные участки на рисунке 1), выполненные так же из специального влагонепроницаемого материала. С целью улучшения микроклимата пододежного пространства предусмотрено использование вкладышей с силикагелем по кокетке полочки и спинки и вентиляционных клапанов в области кокетки переда, открываемых сразу после проведения необходимых пес-

тицидных обработок в чистой зоне. Данные конструктивные дополнения позволяют повысить комфортность и создать условия, способствующие движению воздуха на участках с наиболее интенсивным потоотделением (области груди и спины). Учитывая особенности условий труда, были рассчитаны увеличенные конструктивные прибавки. В местах наибольшего загрязнения предусмотрены дополнительные усилительные накладки из непроницаемых материалов.

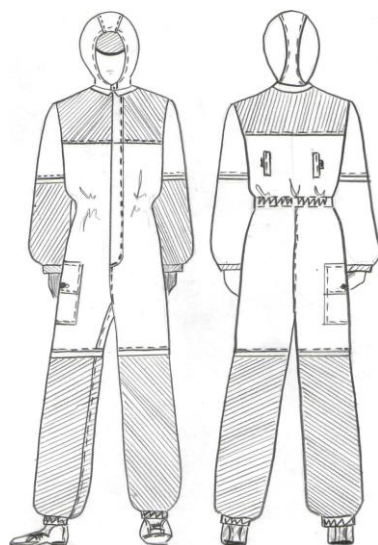


Рисунок 1 – Внешний вид комбинезона

Для обеспечения защиты работающего от вредных производственных факторов, в частности, от проникновения аэрозолей агрохимикатов в пододежное пространство и на кожу работающего через неплотности прилегания, разработаны принципиально новые герметизирующие конструктивные элементы, сборочные схемы которых представлены на рисунке 2.

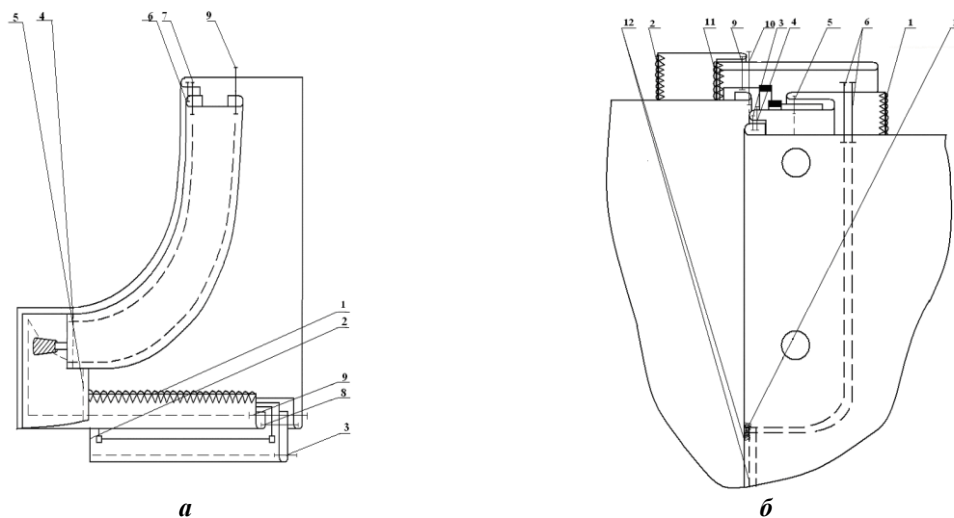


Рисунок 2 – Обработка герметизируемых узлов
 а – лицевого и нижнего срезов съёмного капюшона;
 б – застежки бортового среза

Герметизация достигнута за счет оформления: горловины воротником - стойкой и съёмным капюшоном, пристегивающимся с помощью тесьмы «молнии», звенья которой закрывает клапан из изолирующего материала по нижнему срезу капюшона (рисунок 2, а); двойными застежками среза борта в виде тесьмы «молнии» и дополнительной планки (рисунок 2, б), застегивающейся на кнопки; накладного кармана с прорезным входом, закрытым клапаном, застегивающимся на кнопку.

Разработанный вариант спецодежды по действующему стандарту ГОСТ 12.4-103 классифицируется в группу защиты от концентрированных жидких токсичных веществ, но в

нашем случае его предназначение шире, в т.ч. защита от водоэмульсионных и суспензионных форм пестицидов в широком аспекте сельскохозяйственных работ.

Поскольку пестицидные препараты наряду с действующим токсическим началом (собственно пестицидом) содержат такие ингредиенты как поверхностно – активные вещества, органические растворители, масляные фракции продуктов нефтепереработки, то следует ожидать достаточно высокую их смачивающую и проникающую способность, низкое критическое поверхностное натяжение. В литературных источниках указываются значения поверхностного натяжения для двухпроцентной эмульсии пестицида актеллика в $28,0 \cdot 10^{-5}$ Нсм, карбофоса в $31,0 \cdot 10^{-5}$ Нсм. Вполне понятно, что защитные эффекты на пористых поверхностях, какими являются текстильные материалы, могут быть обеспечены за счет пропиток фторорганическими соединениями, понижающими критическое поверхностное натяжения до уровня как минимум $6,0 \cdot 10^{-5}$ Нсм. Фторорганические соединения обладают более низким поверхностным натяжением, чем натуральные волокна и синтетические волокнообразующие полимеры и придают обработанным тканям водо и маслоотталкивающие свойства.

Для исследования были отобраны хлопчатобумажные ткани артикулов С14 – ЮД, С33 – ЮД производства ООО «ГД «Родники – Текстиль» с фторорганическими пропитками под общим торговым названием «Тефаль», которые производитель позиционирует с защитой от нефтепродуктов и горючесмазочных материалов. Были определены показатели структуры и регламентируемые ГОСТ 12.4.-101 показатели защитных свойств: время промокания и показатели проницаемости по пятипроцентной водной эмульсии кельтана. Эффективность маслоотталкивающей отделки была определена по методике ЗМ, в которой смачивающаяся способность оценивается по степени растекания и впитывания отдельных капель смесей минерального масла и n-гептана в разных соотношениях. Как сравнимый вариант использованы хлопчатобумажные ткани артикул С33 – ЮД с гидрофобизирующей отделкой и ткань артикул 3704 «Fc - 208» с отделкой «латексом LF + Фоботекс» (таблица 1).

Таблица 1 – Основные показатели свойств тканей

Наименование показателя, размерность	Показатели свойств для тканей			
	С 14А- ЮД	С 38 - ЮД	3704 «FC-208»	С 33 - ЮД
Толщина, мм	0,5	0,45	0,35	0,6
Поверхностная плотность, г/м ²	260	250	225	300
Поверхностная пористость, %	13,3	14,7	16,2	14,6
Время промокания, мин.	34	32	26	7
Показатель проницаемости водной эмульсии кельтана, мг/мкдм ² с	$29 \cdot 10^{-3}$	$26 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$64 \cdot 10^{-3}$

Таким образом, все исследуемые образцы эдентичны по волокнистому составу, имеют достаточно близкие структурные характеристики. Ткани артикулов С14 – ЮД, С33 – ЮД имеют более высокие показатели по маслостойкости, времени промокания, показателю проницаемости, который соответствуют нормам действующего стандарта.

В качестве материалов для защитных накладок использованы современные полиэфирные ткани с односторонним изнаночным полиуретановым покрытием, которые по сравнению с традиционными материалами изолирующего типа имеют меньшую толщину, поверхностную плотность, более технологичны и пластичны, что позволяет разрабатывать модели одежды с улучшенными эстетическими свойствами. При испытаниях время промокания пятипроцентной водной эмульсии кельтана составило 23 часа, двадцатипроцентного концентрата эмульсии – 18 минут. Маслостойкость составила менее 90 усл. ед., показатель проницаемости пятипроцентной водной эмульсии кельтана был на уровне следов, двадцатипроцентного концентрата эмульсии – не более $18 \cdot 10^{-3}$ мг/мкдм²с. Также была определена стойкость к действию концентрированной эмульсии кельтана по изменению показателя разрывной нагрузки и удлинения после контакта с материалом в течении 24 часов с токсичной жидкостью. Согласно полученным данным в первом случае показатель стойкости

составил 85%, во втором случае - 79%. Также отмечено некоторое пятнообразное изменение цвета лицевой стороны материала.

Фторорганические препараты наряду с повышением защитных свойств тканей приводят к ухудшению гигиенических показателей: в нашем случае гигроскопичность по ГОСТ 3816 составила не более 8%, что явно недостаточно для выведения влаги из пододежного пространства за счет процессов сорбции – десорбции. В этой связи были предложены так называемые палеативные способы уменьшения влажности пододежного микроклимата, в частности за счет использования силикагелей, которые также способны сорбировать парогазовые фазы пестицидов при их попадании в пододежное пространство.

В эксперименте по общепринятой методике определялось сорбционная емкость силикагеля по ГОСТ 3956-76 при 100% влажности воздуха. Силикагель помещался в мешочки размером 50 x 100 мм из материалов различных структур и волокнистого состава: ситца хлопчатобумажного, полотна тканого полиамидного, вискозного нетканого полотна. В пакете с силикагелем сорбционная емкость составила четыре грамма паров воды на один грамм силикагеля, т.е. – 400%. Сорбционное равновесие устанавливалось за 24 часа наблюдений, 75% сорбированной влаги было поглощено в течении первых 90 мин.

Простые расчеты показывают, что с учетом энергозатрат работающих в условиях нагревающего микроклимата, для поглощения потоотделений до одного литра достаточно 300-400 гр. силикагеля.

Таким образом, предлагаемая конструкция, технологические решения узлов и изделия в целом, исследованный ассортимент материалов позволили разработать достаточно адаптированную к условиям сельскохозяйственного производства модель одежды с высокой степенью эксплуатационных и защитных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глубищ, П.А. Противозагрязняемая отделка текстильных материалов / П.А. Глубищ. – М.: Легкая индустрия, 1989. – 152 с.
2. ГОСТ 12.4. 101 – 93. Одежда специальная для ограниченной защиты от токсичных веществ. Общие технические требования и методы испытаний. [Текст]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1993. - 12 с.- (Система стандартов безопасности труда).
3. ГОСТ 12.4. 103 – 93. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация. [Текст]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1993. - 10 с.- (Система стандартов безопасности труда).
4. ГОСТ 3816 – 81 Полотна текстильные. Методы определения гигроскопичных и водоотталкивающих свойств. [Текст]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1993. - 12 с.
5. Методические рекомендации № 2001/73 от 16.04.2001 г.
6. Лапин, А.П. Требования безопасности при работе с минеральными удобрениями и пестицидами / А.П. Лапин. – М.: Информагротех, 1999. – 80с.
7. Сахарова, Н. Особенности конструирования одежды специального назначения с учетом условий труда / Сахарова Н. Кузьмичев В., Гиричева Н., Китаев В. // Рабочая одежда и СИЗ. – 2003.– № 1. – с. 4.

Павловская Алла Александровна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТиКШИ
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Кваскова Тамара Викторовна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТиКШИ
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Машкей Галина Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Студентка 3-го курса кафедры ТиКШИ
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

УДК 687.126-055.2

Е.В. ПРОКОПОВА, Е.Л. МОСЬКИНА

НЕ РАДИКАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ - КАК СПОСОБ РАСШИРЕНИЯ АССОРТИМЕНТА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Насыщение ассортимента бытовой одежды массового производства с помощью изменения прототипа и приведение его к новому качеству с помощью средств композиционного разнообразия, а не за счет радикальных новшеств, которые предполагают изменение изделия полностью.

Ключевые слова: насыщение ассортимента, средства композиционного разнообразия.

The assortment saturation of everyday clothes of mass production by means of changing the prototype and reduction of it to the new quality with the help of a composite variety, instead of radical innovations which assume the complete changes of a product.

Keywords: assortment saturation, means of a composite variety.

Основной объём швейных изделий создаётся путём промышленного производства. Такая одежда изготавливается массовым тиражом. Это обусловлено тем, что на швейных предприятиях производство одежды представляет собой определённый технологический поток, изменить который не так просто. Внедрение новой модели требует изменения технологических условий, что крайне невыгодно для производителей.

В связи с этим задачей комплексного проектирования и формирования целостного ассортимента бытовой одежды требует разработки и применения такого подхода, при котором происходит его насыщение. Одним из способов насыщения ассортимента выпускаемой продукции на предприятиях является обновление моделей одежды за счёт использования композиционного разнообразия (формы, различного колористического и орнаментального решения материалов, декоративной отделки изделий и т.д.) в рамках разновидности существующей номенклатуры. Для этого необходимо применять такие проектные решения, которые обеспечивают новизну при минимуме внесённых в модель изменений, не оказывающих или незначительно оказывающих влияние на технологию, применяемую при её изготовлении. Следует учитывать, что создание моделей для массового производства значительно отличается от создания моделей от кутюр. Модели женской одежды для массового производства должны отвечать определённым требованиям. С одной стороны они должны быть удобные, гигиеничные, красивые, современные и разнообразные по внешнему виду. Их композиционное решение должно обеспечивать возможность модифицирования моделей путём изменения цвета, рисунка, фактуры материала при неизменной конструкции. С другой стороны в мотивах композиции должны отсутствовать навязчивость, броскость, т.е. все, что способствует запоминанию и быстрому распознаванию моделей среди других, так как эти свойства моделей накладывают ограничение на тираж. Модели должны отличаться универсальностью, которую добиваются проектированием изделий, в мотивах композиции которых, отсутствует ярко выраженная индивидуальность, сужающая границы употребления и круг потребителей. Кроме того, композиционное решение должно обеспечивать возможность изготовления модели в предельно широком размероростовочном ассортименте и для людей различных возрастных групп. Конструкция должна быть технологичной, т.е. которую можно изготовить просто и дешево при высоком качестве моделей и без ущерба эстетических свойств. Для расширения ассортимента и разнообразия исходной модели можно использовать проектирование систем моделей на одной конструктивной основе. Характерной чертой этих систем является общность конструктивных основ при значительном разнообразии моделей. Выбирая базовую основу, следует отдавать предпочтение основам, которые позволяют разработать максимальное число модельных решений. Наиболее удобными для разработки систем моделей на одной конструктивной основе являются стабильные конструктивные решения, оригинальность и разнообразие моделей в данном случае достигается за счёт расположения на поверхности формы декоративных деталей и элементов и других средств композиционного разнообразия. Средства композиционного разнообразия, вносят в предмет организующее начало и, хотя сами зависят от формы и пропорции вещи, в то же время подчер-

квивают их, выявляют основные их членения или, наоборот, произвольно членя поверхность, вносят дополнительные акценты в большую, монотонную плоскость, преследуя одну цель - вызвать эмоциональную заинтересованность, создать впечатление новизны. Характер заполнения частей формы декоративной отделкой влияет на эстетическое восприятие моделей и выполняя только эстетическую функцию, декоративные отделки подчёркивают, развивают и обогащают форму. Так же следует отметить, что именно отделка активно реагирует на все изменения моды вследствие своей мобильности, а иногда даже предвосхищает эти изменения, являясь как бы индикатором моды. Ведь мода принадлежит к числу качественных признаков товара эстетического характера. Она становится в настоящее время главным признаком его потребительской стоимости и, для определённых категорий населения при нынешнем уровне доходов выступает основным стимулом формирования спроса.

В совокупности с декоративной отделкой, на разнообразии моделей, выполненных на одной конструктивной основе, может влиять варьирование размерных признаков швейного изделия, таких как длина изделия, длина рукава и др. Для выбора композиционного решения месторасположения декора на поверхности формы, необходимо учесть динамический потенциал основных информативных точек формы (т.е. способность точки перемещаться в определённом диапазоне и тем самым влиять на изменение формы) и интенсивность информативности точек, которая зависит от шага отличия (т.е. такого изменения в местоположении точек, при котором форма воспринимается по-другому).

Например, повышение или понижение положения плечевых точек на 1,5см существенно изменяет форму лифа, а повышение или понижение на такую же величину точек соответствующих низу изделия совершенно незаметно. Интенсивность информации всех точек лифа примерно одинакова, так как шаг отличия их колеблется в одинаковых пределах, равных 1-2см. Это объясняется тем, что при рассмотрении формы, прежде всего, обращают внимание на её верхние части.

В результате исследований ряда авторов (Шершнева Л.П. и др.) была установлена информативность различных точек (рисунок 1), что весьма эффективно может использоваться для определения месторасположения декоративных элементов на поверхности моделей, которые в свою очередь могут усилить информативную выразительность точек и увеличить интенсивность отличия модели.

Для усиления информативной выразительности точек в практике моделирования одежды используют различные композиционные приёмы, способные усилить интенсивность отличия, например для расширения низа рукава применяют воланы.

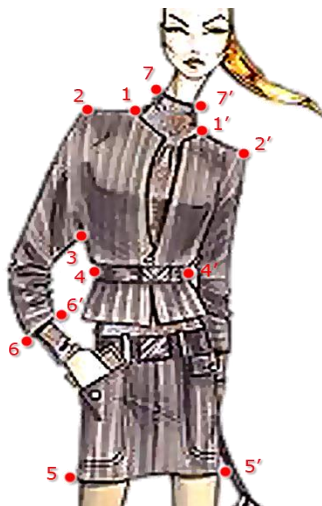


Рисунок 1 – Информативные точки модели

При проектировании моделей одежды следует учитывать, что изменение конфигурации, размера и структуры формы и её поверхности оказывает существенное влияние на материалоемкость, сложность и степень однородности форм в обработке. Наиболее простыми являются формы, которые состоят из основных функциональных частей, имеют простой геометрический вид и гладкую поверхность. Такие формы имеют минимальную материалоемкость и трудоёмкость. Формы одинаковой или близкой сложности наиболее однородны по трудоёмкости, номенклатуре оборудования и приспособлений, схемам сборки и др.

Следует отметить, что неисчерпаемыми возможностями в обеспечении новизны моделей обладают средства разработки поверхности формы. Различные модификации композиции исходной модели, получаемые благодаря использованию различных средств разработки поверхности формы, выполненные с учётом основных положений принципа взаимозаменяемости

позволяют при небольших затратах и изменениях в технологии получать модели, внешний вид которых воспринимается по-разному. Для выработки концептуальных решений по насыщению ассортимента чрезвычайно важно учитывать, что эстетическое восприятие, выразительность и разнообразие моделей, зависят от характера заполнения частей формы различными линиями, деталями, отделками.

Таким образом, при различиях моделей по всем признакам отличий (форма, структура поверхности формы, цвет и рисунок материала, основные конструктивные материалы, декоративные материалы и фурнитура) или по большинству из них, роль декоративной отделки заключается в усилении данных отличий. Когда модели одинаковы или признаков отличий мало, то именно отделка играет ведущую роль в получении отличий восприятия моделей, т.е. с её помощью достигается их новизна. Чтобы декоративная отделка активно оказывала влияние на внешнее отличие моделей на одной конструктивной основе, рекомендуется выполнить условия установленные нами экспериментально:

– разность в количестве рядов декоративных элементов (в площадях занимаемых декоративной отделкой) должна быть существенной;

– месторасположение одноименной декоративной отделки (особенно при её равном количестве) должно соответствовать зонам активного восприятия, таким как: верхняя часть рукава (до локтя), верхняя часть полочек или переда швейного изделия, воротник – застёжка (центральная часть переда). Менее активно воспринимается декор (воланы) расположенный на нижней части изделия, длина которого ниже линии бедра и внизу длинного рукава;

– при равном количестве рядов декоративных элементов, но при их разной конфигурации наибольшего внешнего отличия можно добиться, если декоративные элементы расположены на воротнике – застежке, наименьшего, когда декоративные элементы расположены в нижней части рукава. Так же различная конфигурация декоративных элементов, расположенных в верхней части полочек и внизу швейного изделия (длина которого ниже линии бедра) незначительно влияет на внешние отличия моделей;

– применение разнообразных по цвету, орнаментации и фактуре материалов усиливает внешние отличия моделей на одной конструктивной основе, увеличивает композиционную вариантность при комбинировании, даёт возможность получения моделей не только внешне различных, но и разного класса (производственная, бытовая) и типа (повседневная, торжественная и т. д.).

Насыщение ассортимента за счет средств композиционного разнообразия это те вносимые в модель новшества, которые не носят радикальный характер, так как представляют деятельность, направленную на изменение прототипа, в данном случае это конструктивно однородные модели одежды. То есть, изменяем прототип и приводим его к новому качеству с помощью средств композиционного разнообразия, а радикальные новшества предполагают изменение изделия полностью. В современных условиях, особенно в условиях всеобщего мирового экономического кризиса не радикальные новшества преимущественно должны двигать производство, особенно малое производство, которое в основном доминирует в отечественной швейной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлова, Т. В. Основы теории проектирования костюма [Текст] : учебник для вузов / Т. В. Козлова, Р. А. Степучев, Г. И. Петушкова. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 352 с.
2. Прокопова, Е. В. Влияние декоративных средств в композиции на новизну восприятия моделей [Текст] / Е. В. Прокопова // Мода и дизайн: исторический опыт – новые технологии : сб. матер. конф. / СПГУТД. – СПб., 2004. - С. 213-214.
3. Шершнёва, Л. П. Проектирование и производство женского платья [Текст] / Л. П. Шершнёва, А. П. Рогова. - М. : Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. - 224 с.

Прокопова Елена Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»

Тел.: (4862) 55-11-20

E-mail: tikshi@ostu.ru

Моськина Елена Леонидовна

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»

Тел.: (4862) 55-11-20

E-mail: tikshi@ostu.ru

М.В. РОДИЧЕВА, А.В. АБРАМОВ, П.А. РОДИЧЕВА

УЛУЧШЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ВОЗДУШНЫХ ПРОСЛОЕК

Эргономические свойства специальной одежды для защиты от метеофакторов, могут быть обеспечены за счет проектирования системы естественной вентиляции пододежного пространства. В статье рассматриваются некоторые аспекты проектирования элементов системы вентиляции пододежного пространства, а также представлены готовые образцы специальной одежды. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 09-08-97557 на проект "Моделирование процессов тепло- и массообмена в биотехнической системе "Человек-одежда-окружающая среда".

Ключевые слова: *Эргономические свойства; специальная одежда для защиты от метеофакторов; система естественной вентиляции пододежного пространства; вентиляционные элементы; стабилизированная воздушная прослойка.*

Ergonomic properties of special clothing for protection from meteorological factors, can be achieved through natural ventilation system design underclothing space. This article consider some aspects of the design elements of the ventilation system underclothing space, and provides ready examples of special clothing. Work is executed within the limits of the Russian Federal Property Fund grant № 09-08-97557 on the project "Modeling of processes heat - and substance exchange in bio-technical system" Person-clothes-environment".

Key words: *Ergonomic properties; special clothing for protection from meteorological factors; natural ventilation system; elements of the ventilation system; stable air layer.*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

К числу эргономических свойств одежды относится ее способность поддерживать состояние теплового комфорта человека. В процессе проектирования, эргономические и защитные требования могут противоречить друг другу. Например, защита от негативного воздействия метеофакторов, обеспечивается путем изоляции пододежного пространства от окружающей среды. В то же время, состояние теплового комфорта человека поддерживается за счет организации воздухообмена пододежного пространства с окружающей средой.

Традиционно, воздухообмен под одеждой организуется за счет припусков на свободу облегания, щелевидных отверстий и др. Обоснование геометрических параметров таких элементов обуславливается «здравым смыслом», а не результаты научных исследований [2].

Западными фирмами предложены специализированные мембранные материалы (Gore, Low Alpine, Marmont, DuPont и др.) (рисунок 1 а). Такие материалы имеют трехслойную структуру, состоящую из двух гидрофильных слоев, между которыми водится гидрофобный, покрытый перфорацией. Размер пор меньше диаметра молекулы воды, но больше молекулы пара, за счет чего парообразная влага из пододежного пространства выводится в окружающую среду, а капельная влага не попадает под одежду.

По данным Testing Company of Hoboken, материалы Gore поддерживают заданные параметры вентиляции не более 500 часов [1]. Для возврата исходных свойств, необходима сложная процедура очистки. Это делает затруднительным использование мембранных материалов для проектирования специальной одежды.

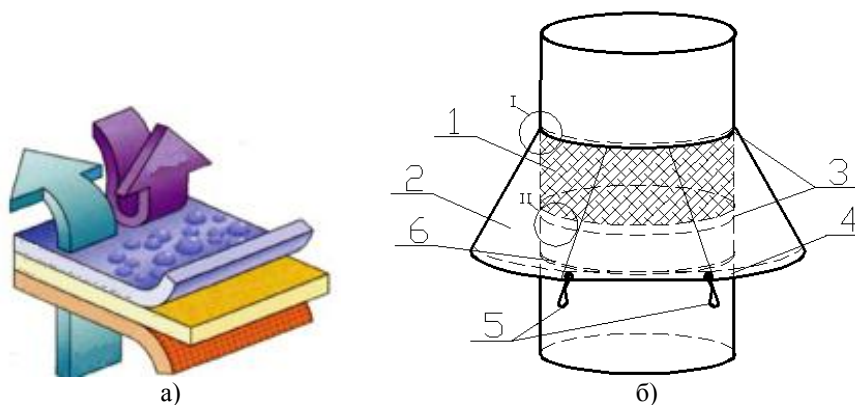


Рисунок 1 – Вентилируемые элементы
 а – мембранная ткань; б – вентиляционный элемент;
 1 – цилиндрическая сетчатая вставка; 2 – конический раструб;
 3, 6 – кольцевые каркасные элементы; 4 – упругое полукольцо; 5 – ограничители

Одним из путей повышения эргономических свойств одежды, является проектирование конструктивных вентиляционных элементов, которые позволяют осуществлять регулируемый забор воздуха под одежду за счет изменения угла конусности. В тоже время, с помощью конического раструба обеспечивается защита пододежного пространства от негативного воздействия метеофакторов (в частности, капельной влаги). На рисунке 1 б представлен образец вентиляционного элемента, разработанного авторами статьи.

Использование подобных элементов эффективно при введении в конструкцию специальной одежды стабилизированной воздушной прослойки. Воздухообмен пододежного пространства с окружающей средой, будет способствовать интенсификации теплоотдачи с поверхности тела человека. Величина теплоотдачи определяться: толщиной прослойки, геометрическими параметрами воздухозаборных элементов и их количеством (рисунок 2 а). Для математического описания теплоотдачи с поверхности тела человека в воздушную прослойку предложена модель:

$$\begin{cases} Q_{\text{конв}} = S \cdot v \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t; \\ Q_{\text{луч}} = \sigma \varepsilon F \left(\left[\frac{T_{\text{нов}}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{\text{нак}}}{100} \right]^4 \right) \end{cases} \quad (1)$$

где: S - площадь кольцевого канала воздушной прослойки, м^2 ; σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$; ε – степень черноты излучающей поверхности; F – площадь излучающей рабочей поверхности, м^2 ; $T_{\text{нов}}$ - температура излучающей поверхности, К; $T_{\text{нак}}$ - температура внутренней поверхности исследуемого пакета, К; v – скорость воздуха в кольце воздухозаборного устройства м/с; ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований используется биотехнический эмулятор процессов теплообмена (БЭТ) (рисунок 2 б). На рабочую поверхность БЭТ (1) надевается исследуемый пакет (2) со стабилизированной воздушной прослойкой (3), воздухозаборными элементами (4), а также коническим измерительным устройством (5). При проведении исследования измеряются: температура поверхности БЭТ, ($T_{\text{нов}}$, К); температура внутренней поверхности пакета, ($T_{\text{нак}}$, К); скорость движения воздуха в измерительном устройстве (v , м/с).

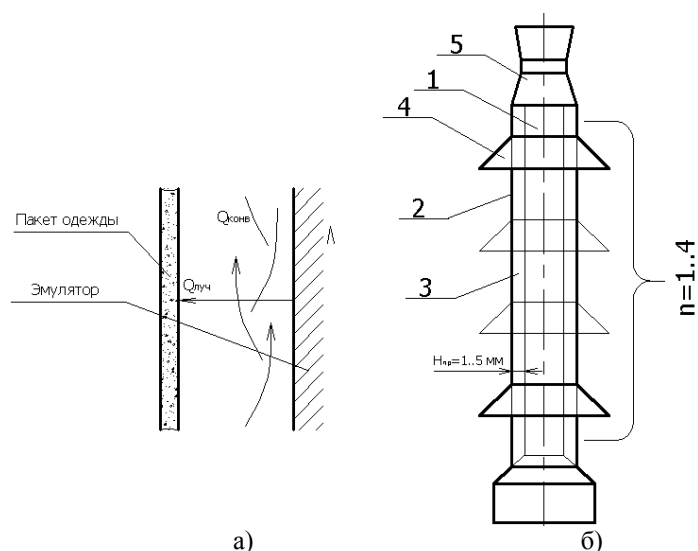


Рисунок 2 – Теплоотдача в воздушную прослойку
 а – схема физических процессов; б – схема проведения исследования

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью предложенной методики исследованы пакеты вентилируемой одежды, которые отличаются друг от друга толщиной воздушной прослойки (1...5 см) и количеством воздухозаборных элементов (1...4 шт). На рисунке 3 приведены результаты экспериментальных исследований.

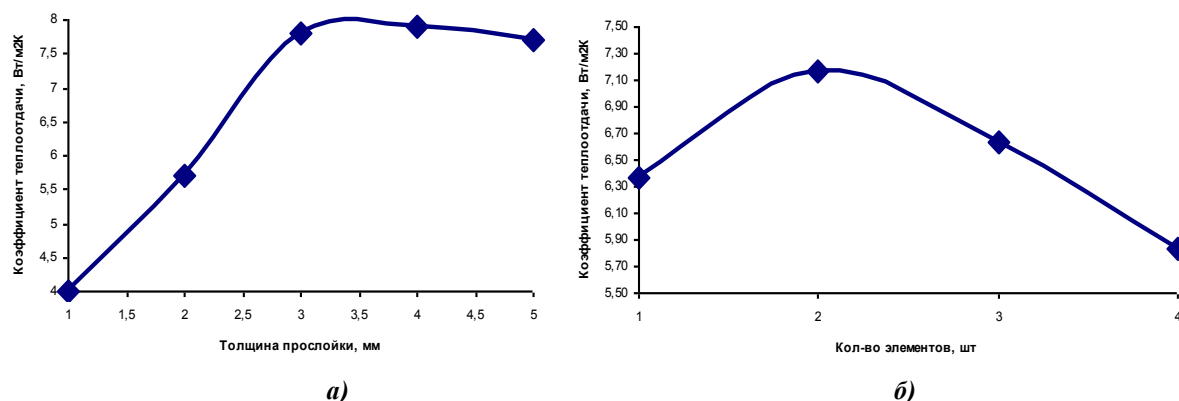


Рисунок 3 – Результаты исследований
 а – влияние воздушной прослойки на коэффициент теплоотдачи;
 б – влияние количества воздухозаборных элементов на коэффициент теплоотдачи при толщине воздушной прослойки $h=0.03$ м

Как следует из полученных данных, увеличение толщины воздушной прослойки приводит к интенсификации теплоотдачи. Подобная зависимость наблюдается до критического значения толщины 30 мм. Дальнейшее увеличение толщины воздушной прослойки приводит к уменьшению теплоотдачи, что связано с перемешиванием отдельных воздушных слоев. При увеличении количества воздухозаборных элементов до 2-х, теплоотдача с поверхности эмулятора увеличивается. При использовании 3-х и 4-х воздухозаборных элементов, теплоотдача снижается из-за уменьшения расстояния между элементами. Максимальная эффективность процесса вентиляции пододежного пространства достигается за счет использования воздушной прослойки толщиной 30 мм, в совокупности с 2-мя воздухозаборными элементами. На основе полученных результатов, авторами разработаны образцы вентилируемой специальной одежды (рисунок 4).



а) б) в)
Рисунок 4 – Образцы специальной одежды с элементами вентиляции пододежного пространства
*а – костюм для защиты от биологических факторов;
б, в – варианты костюма для защиты от дождя*

Как показывают результаты натурных испытаний, показатели теплового состояния человека в вентилируемой специальной одежде соответствуют тепловому комфорту в условиях, в которых традиционная специальная одежда не обеспечивает теплового комфорта работающего [1]. Таким образом, использование в одежде воздухозаборных элементов и воздушной прослойки, позволяет повысить уровень эргономических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, А.В. Проектирование специальной влагозащитной одежды с системой естественной вентиляции пододежного пространства: дис. ...канд. технич. наук. - Орел. - 2007. - 182 с.
2. Уваров, А.В. Улучшение условий и охраны труда работников АПК путем разработки и внедрения спецодежды для защиты от переохлаждения и перегрева: дис. ...канд. технич. наук. - Орел. - 2000. - 186 с.

Родичева Маргарита Всеволодовна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой "Технология и конструирование швейных изделий"
Тел. (4862)55-10-31
E-mail: tikshi@ostu.ru

Абрамов Антон Вячеславович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры "Охрана труда и окружающей среды"
Тел. (4862)76-14-39
E-mail: ral@ostu.ru

Родичева Полина Андреевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
студент группы 41-ЭИ
Тел. (4862)76-49-71
E-mail: polka190@yandex.ru

ИННОВАЦИИ И КАДРЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 377.6: 371.49

Н.Е. МОСЬКИНА

СИСТЕМА ТЕСТОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА СФОРМИРОВАННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

В статье анализируется опыт внедрения системы комплексного оценивания качества подготовки специалистов для машиностроения с применением тестовых технологий.

***Ключевые слова:** оценка качества, среднее профессиональное образование, специалист технического профиля, тестовые технологии.*

In article experience of introduction of system complex exhibiting of an estimation qualities of preparation of experts for mechanical engineering with application of test technologies is analyzed.

***Key words:** an estimation of quality, average vocational training, the expert of a technical structure, test technologies.*

Современные тенденции развития общества ставят перед профессиональной школой проблему подготовки специалистов, способных переключиться с одного вида профессиональной деятельности на другой, совмещать различные трудовые функции. Высококвалифицированному специалисту все чаще приходится принимать решения, требующие экономических и управленческих знаний, знаний иностранного языка и основ психологии, информационных технологий и т.п. Изменения, наблюдаемые в профессиональной деятельности современного специалиста, неизбежно влекут за собой необходимость внесения корректив в систему профессиональной подготовки. Так, например, Европейский союз ориентирован в настоящее время на создание единой системы гарантии качества образования как необходимой составляющей пространства высшего образования европейских стран. Так в рамках проекта, ориентированного на анализ довузовской подготовки как условия повышения качества инженерного образования, разрабатываются документы, определяющие структуру квалификаций европейской зоны высшего образования [1], а также требования к компетенциям выпускников, которые содержат пять разделов: знания, применение знаний, принятие решений, коммуникация, навыки самообучения.

Компетентность специалиста учитывает одновременно и уровень развития способности заниматься профессиональной деятельностью, и степень готовности к ее выполнению, является предметом дискуссий не только с точки зрения разработки структуры компетенций специалистов, занимающихся различными видами профессиональной деятельности, но и с позиции их «измеряемости». Система оценки профессиональной компетентности включает критерии, количественные показатели, а также уровни, выделяемые по показателям. Одним из ведущих подходов к оценке компетентности специалиста, признанном на международном уровне, является система педагогических измерений.

Для того чтобы объективно оценить качество сформированности профессиональных компетенций студентов, необходимо, прежде всего, их измерить. В отличие от оценки, измерение представляет собой процедуру сопоставления изучаемого свойства с неким эталоном, принимаемым за единицу измерения. Цель – получить численные эквиваленты степени знания студентом того или иного предмета. Роль единицы измерения могут играть подобранные соответствующим образом контрольные задания. Получение численного аналога уровня сформированности компетенции может коренным образом перестроить всю педагогическую систему, положив в ее основу математико-статистические методы анализа получаемых результатов: находить средние значения, показатели изменчивости и вариации, определять ме-

ру связи, оценивать влияния и т.д. Таким образом, оценка является значимым средством стимулирования учения, положительной мотивации и влияния на личность. Благодаря объективному оцениванию появляется возможность для формирования у студентов адекватной самооценки, критического отношения к результатам своего труда.

Педагогические тесты, отвечающие высоким критериям качества, по сравнению с традиционными субъективными формами контроля обученности студентов обладают несомненными преимуществами, к которым относятся: индивидуальный характер; регулярность проведения на всех этапах процесса обучения; сочетание с другими формами контроля; всесторонность и полнота; объективность; учет специфических особенностей дисциплин; возможность применения современной технологии компьютерно-адаптивного тестирования; возможность массового применения; единство требований ко всем испытуемым; возможность стандартизации тестов на основе требований Государственных образовательных стандартов; дифференцированность шкалы тестовых баллов; высокая надежность; высокая содержательная, прогностическая и критериальная валидность тестового контроля, основанная на включении всех дидактических единиц программы обучения в задания теста; эффективность; возможность применения методов информационной безопасности; стимулирование постоянной работы всех студентов.

В ходе реализации на базе Технологического институт Орловского государственного технического университета проекта «Разработка и внедрение многоуровневой практикоориентированной системы оценивания качества подготовки специалистов», выполняемого в рамках аналитической целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 гг.)» кафедрой «Технология машиностроения» факультета СПО разработаны комплекты тестов по учебным дисциплинам СД.01 «Технологическая оснастка», СД.02 «Технология машиностроения», СД.03 «Технологическое оборудование», по практике для получения первичных профессиональных навыков (ПП.01) в соответствии с ГОС СПО и основной образовательной программой специальности «Технология машиностроения». Блок специальных дисциплин (СД) выбран из стандарта специальности как наиболее значимый для подготовки специалистов и учитывающий знания и навыки, приобретенные студентами в ходе изучения других технических дисциплин. В связи с реализацией на базе факультета СПО начального профессионального образования, разработан комплект тестов для проведения итогового междисциплинарного экзамена для специального блока федерального компонента содержания обучения по специальности «Станочник широкого профиля» в соответствии с требованиями стандарта данной специальности (ОСТ 9 ПО 02.2.12-2001).

Каждый комплект содержит 16 вариантов теста, каждый вариант – 20 заданий. Количество вариантов выбиралось исходя из следующих соображений:

- время тестирования – 45 минут;
- студентов в группе – не более 30 человек;
- компьютерные классы большинства учебных заведений рассчитаны на половину учебной группы (15 рабочих мест).

Таким образом, в течение учебного занятия (90 минут) возможно проведение тестирования всей учебной группы, а один вариант заданий используется в качестве демонстрационного.

При разработке структуры тестов в качестве модулей (дидактических единиц) использованы разделы учебных дисциплин в соответствии с тематическими планами примерных и рабочих программ. Распределение относительного количества заданий по дидактическим единицам соответствует времени на изучение каждого модуля в общем объеме учебной дисциплины. Наряду с теоретическими в тесты включено достаточное количество практических заданий.

При компьютерном тестировании мы используем сертифицированный программный продукт «Конструктор тестов», разработанный компанией KeepSoft [2]. Такой выбор обоснован универсальностью программы и широким спектром её возможностей, среди которых

- возможность задавать цену каждому вопросу в баллах;

- возможность выставлять оценку по окончании тестирования.

Каждому вопросу наших тестов в зависимости от степени сложности присвоен вес (от 4 до 7 баллов), сумма весов в каждом варианте составляет 100 баллов. Если студент в результате тестирования набирает от 40 до 60 баллов, то он получает оценку «удовлетворительно», свыше 60 до 80 баллов – оценку «хорошо», свыше 80 баллов – оценку «отлично». Шкалу оценок можно настроить от 2-х бальной до 100-бальной системы по усмотрению разработчика теста.

В настоящее время все выполненные разработки проходят процедуру сертификации в ООО «Независимый центр тестирования качество обучения» (г. Москва).

Конкурентоспособность выпускника на рынке труда может являться дополнительным критерием профессиональной компетентности выпускников образовательного учреждения. Качественным показателем конкурентоспособности может служить факт принятия выпускника образовательного учреждения на работу. Во многих случаях прием ведется через собеседование и конкурсный отбор и отражает все структурные компоненты компетентности, в том числе ее эмоционально-волевою составляющую, свидетельствующую о способности достигать поставленной цели. В этой связи, обеспечение качества инженерно-технического образования в соответствии с международными требованиями является приоритетным направлением государственной политики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Criteriafor Academic Bachelors and Masters Curricula. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jointquality.com/content/descriptors/AC-English-Gweb.pdf>
2. Компания KeepSoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.keepsoft.ru/simulator.htm>

Москина Нина Евгеньевна

Заведующая кафедрой «Технология машиностроения»

Орловский государственный технический университет, Технологический институт

Тел: (4862) 55-55-24

E-mail: niotlostu@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ СПЕЦИАЛИСТА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Рассматривается опыт разработки и внедрения в образовательный процесс шкалированной квалиметрической модели компетенций специалистов инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.

Ключевые слова: профессиональная социализация, профессиональная компетенция, шкалированная модель, квалиметрия специалистов.

Experience of development and introduction in educational process of model competence experts of a production structure with specialization is considered in the field of the automation of designer-technological preparation of manufacture having a scale of measurement of quality.

Key words: professional socialize, the professional competence, model scale of measurements of quality measurement of quality experts.

В современной специальной литературе под свойствами специалиста понимают совокупность его социально-профессиональных компетенций [1]. В целом, в соответствии с общепринятой терминологией под *компетенцией* понимают базовое качество индивидуума, имеющее на основе установленных критериев причинное отношение к эффективному и/или наилучшему исполнению в работе или в других ситуациях [2]. Таким образом, компетенция есть базовые качества людей и обозначают «варианты поведения или мышления, распространяемые на различные ситуации и длящиеся довольно значительный период времени» [3]. *Базовое качество* означает, что компетенция является очень глубоко лежащей и устойчивой частью человеческой личности и может предопределять поведение человека во множестве ситуаций и рабочих задач. *Причинное отношение* означает, что компетенция предопределяет или вызывает определенное поведение и исполнение. *На основе критериев* – значит, что компетенция действительно прогнозирует хорошее или плохое исполнение, которое измеряется при помощи конкретного критерия, или стандарта, причем ссылка на критерий очень важна для определения компетенции.

Проведенный анализ теоретико-методологических подходов к формированию моделей компетенций позволяют выделить две наиболее актуальные модели компетенций специалистов. В одной из них (американской) [2] сделан акцент на оценки компетенций специалиста в процессе его профессиональной деятельности при сравнении результатов его работы с результатами «наилучшего исполнителя». Другая модель (европейская) [4] имеет в своем фокусе систему компетенций, формируемую в процессе получения образования определенного профиля (как профессионального, так и дополнительного), и в своей основе опирающаяся на европейский стандарт инженерно-технического образования.

Особое место в моделировании системы компетенций специалиста играет разработка компетентностной модели специалиста, имеющей определенное направление специализации. В Технологическом институте ОрелГТУ разработана и внедрена в деятельность вуза модель для системы компетенций инженерно-технических специалистов в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. В процессе разработки модели учитывалось, что, с одной стороны, она должна быть ориентирована на европейскую модель инженерного образования, а, с другой стороны, должна ориентироваться на опыт шкалирования, применяемый в американских моделях, используемых в практике для оценки (в компетентностном формате) технических специалистов как «наилучших исполнителей», работающих в производственных фирмах и компаниях.

По-нашему мнению, при подготовке молодых специалистов инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства наиболее актуальными являются следующие компетенции (таблица 1). При этом весовые коэффициенты в таблице 1 получены на основе применения метода МАИ в анализе структурных приоритетов компетенций специалистов инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.

Таблица 1 – Структура и вес компетенций специалиста инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства

Вес	Система компетенций «идеального исполнителя» (американская модель)	Индивидуальная система компетенций специалиста (европейская модель)
1	2	3
0,389	<p><i>(6) Когнитивные компетенции</i> Концептуальное мышление (А Сложность и оригинальность концепций – 0 - 7); Аналитическое мышление (А Сложность анализа – 0 – 6; Б Размер исследуемой проблемы – 1 - 5); Экспертиза (А Глубина знаний – 1 – 8; Б Широта управленческой экспертизы – 1 – 7; В Приобретение экспертизы - -1– 3; Г Распространение экспертизы – 0 - 5).</p>	<p><i>(3) Исследования</i> Оценивает возможности использования новых и новейших технологий в сфере своей специализации <i>(Ж) Инженерное проектирование</i> Использует знания при решении незнакомых задач <i>(Е) Инженерный анализ</i> Решает незнакомые, нечетко определенные задачи в области своей специализации (автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства) <i>(Д) Творческие (креативные)</i> Занимается самостоятельным поиском причинно-следственных связей. Применяет новые подходы к решению известных проблем <i>(Г) Познавательные (когнитивные)</i> Приобретает знания из различных информационных источников, а также самостоятельно определяет эти источники <i>(В) Инженерная практика</i> Выбирает и использует подходящее оборудование, инструмент и методы</p>
0,27	<p><i>(5) Достижение и действие</i> Ориентация на достижение (А Интенсивность и завершенность действия, мотивированного на достижение - -1 – 8; Б Воздействие достижения – 1 – 7; В степень инновативности – 0 - 4); Поиск информации (Поиск информации – 0 - 7); Забота о порядке, качестве и аккуратности (А Забота о порядке, качестве и аккуратности - -1 - 7).</p>	<p><i>(Б) Общепрофессиональные знания и понимание</i> Демонстрирует системное понимание ключевых аспектов, компетенций, принципов и критическую осведомленность в передовых знаниях и области специализации</p>
0,162	<p><i>(4) Личная эффективность</i> Самоконтроль (А Самоконтроль - -1 - 6); Уверенность в себе (А Уверенность в себе - -1 – 6; Б Работа с неудачами - -2 – 3).</p>	<p><i>(А) Социально-психологические знания</i> Выбирает средства, определяет цели, планомерно применяет эти средства для достижения поставленных целей, принимает решения, в том числе нестандартные</p>
0,073	<p><i>(3) Менеджерские компетенции</i> Командная работа и сотрудничество (А Интенсивность развития командной работы -1 – 7; Б Размер задействованной команды - 1 – 6; В Количество усилий или инициативы, направленных на развитие командной работы - 0 - 5).</p>	

Продолжение таблицы 1		
1	2	3
0,077	(2) <i>Помощь в обслуживании других</i> Ориентация на обслуживание клиента (А Фокус на потребностях клиента -3 – 9; Б Собственная инициатива - -1 - 5)	
0,042	(1) <i>Воздействие и оказание влияния</i> Воздействие и оказание влияния (А Действия, осуществляемые, чтобы влиять на других -1 - 8; Б Широта влияния, понимания или сети воздействия 1 - 9)	

Кроме того, целесообразным является шкалирование интегративной компетенции специалиста инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства с использованием методики, представленной в научной литературе и используемой американскими специалистами в практике работы кадровых служб при оценке качества специалистов [2]. По-нашему мнению, такая шкалированная структура может иметь следующий вид (таблица 2). Она имеет следующие четыре измерения.

Глубина знаний в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки (субшкала А) описывается в виде формальных степеней образования, хотя на каждом уровне присутствует равноценное мастерство посредством рабочего опыта и самообразования.

Широта управленческой деятельности специалиста (субшкала Б) описывает менеджерские навыки и организационный опыт в области управления, координации и интеграции специалистов различных уровней и профилей подготовки и организационных единиц для достижения общей цели. Эту компетенцию можно демонстрировать линейно, в функциях персонала, привлеченного к реализации проекта, или в роли специалиста в управлении этим проектом.

Субшкала В описывает специфику приобретения специалистом знаний в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства и измеряет его усилия на поддержание и приобретение новых знаний в специальной области, от простого поддержания до обширных усилий на приобретение совершенных знаний в области своей профессиональной деятельности.

Распространение специальных знаний (субшкала Г) измеряет интенсивность или масштабность роли специалиста в сфере профессиональной деятельности.

Формирование и реализация интегративной компетенции специалиста инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства во многом зависит не только от задействованных технических знаний специалиста, но и от мотивации и расположения (позиционирования) специалиста в профессиональной среде. Эти два аспекта принципиально важны для перевода технических знаний в эффективные для компании результаты. Пока специалист не будет мотивирован для поддержания и улучшения своих специальных знаний, его знания будут просто со временем устаревать. Кроме того, не имея доброй воли, специалист не будет активно распространять имеющиеся у него знания, т.е. не будет давать достаточную отдачу при реализации проектов в рамках всего коллектива.

Таблица 2 – Шкала интегративной компетенции специалиста инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства

Уровень	Описание поведения
1	2
А	ГЛУБИНА ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
А. 0	<i>Отсутствие знаний.</i> Не имеет навыков запуска прикладного программного обеспечения в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.
А. 1	<i>Первичная подготовка.</i> Осуществляет простые, элементарные задания по построению элементов геометрических фигур (простейшие элементы деталей).
А. 2	<i>Элементарная профессиональная подготовка.</i> Выполняет простые задания по построению простейших деталей машин и механизмов.
А. 3	<i>Профессиональная подготовка.</i> Выполняет ряд заданий среднего уровня сложности отдельных деталей машин и механизмов.
А. 4	<i>Продвинутая профессиональная подготовка.</i> Выполняет на продвинутом профессиональном уровне множество сложных заданий, в том числе простейшие сборочные чертежи в формате 2D – моделирования.
А. 5	<i>Базовый профессионализм.</i> Предоставляет профессиональные услуги. Выполняет на продвинутом профессиональном уровне множество сложных заданий, в том числе сборочные чертежи среднего уровня сложности, а также задания, требующие выполнения 3D – моделирования.
А. 6	<i>Проверенный профессионал.</i> Оказывает очень продвинутые или специализированные профессиональные услуги, в том числе выполнение анимационного моделирования.
А. 7	<i>Совершенное владение профессией/специальностью.</i> Первоначальный результат работы - экспертиза или техническое лидерство в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства; считается авторитетным в технической или профессиональной сфере в компании (старший научный сотрудник, генеральный директор и т.п.). Сертифицированный специалист.
А. 8	<i>Выдающийся авторитет.</i> Национально/международно признанный авторитет в профессиональной или научной сфере (руководитель исследовательских работ и т.п.), связанной с использованием и модернизацией различных видов прикладного программного обеспечения в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.
Б	ШИРОТА УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
Б. 1	<i>Отсутствует.</i> Работает индивидуально, вне контакта в членами рабочей группы, отвечает только за результаты своей работы.
Б. 2	<i>Однородная рабочая единица.</i> Линия: Руководитель рабочей группы по выполнению задания в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства Персонал: интегрирует связанные между собой результаты работы других членов рабочей группы. Проект: лидер команды по разработке проекта в рамках однородной рабочей группы.
Б. 3	<i>Отделение.</i> Линия: руководит несколькими рабочими группами. Персонал: Несколько рабочих групп, работающих над выполнением одного проекта. Проект: руководит проектной командой.

		Продолжение таблицы №2
1		2
Б.	4	<i>Несколько отделений.</i> Линия: руководит структурным подразделением крупного предприятия, куда входят несколько отделений, управляемые подчиненными руководителями. Персонал: интегрирует несколько функций персонала. Проект: координирует крупные проекты, управляемые подчиненными руководителями.
Б.	5	<i>Широкое – бизнес-единица.</i> Линия: руководит организационной единицей, которая является дочерней по отношению к отделению или группе; или исполнительным директором исследовательской или проектной фирмы среднего размера. Персонал: управляет бизнесом в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Проект: руководит продуктом, полученным в ходе реализации проекта, на уровне организационной единицы.
Б.	6	<i>Широкое – отделение, стратегическая группа компаний.</i> Линия: руководит отделением или группой компаний, исполнительный директор достаточно крупной компании, выполняющей разработки в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Персонал: штаб-квартира корпорации. Проект: руководит крупными (от 100 млн. долларов) проектами.
Б.	7	<i>Широкое – исполнительный директор и главный операционный директор крупной корпорации,</i> занимающейся масштабными разработками в области комплексной автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.
В		ПРИОБРЕТЕНИЕ ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
В.	-1	<i>Сопротивляется.</i> Избегает пополнять имеющиеся знания, сопротивляется новым идеям, программным продуктам, приемам работы, технологиям.
В.	0	<i>Нейтрален.</i> Не интересуется пополнением знаний в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства, но не оказывает активного сопротивления.
В.	1	<i>Поддерживает текущие технические знания.</i> Сам узнает последнюю информацию, активно поддерживает навыки на современном уровне.
В	2	<i>Расширяет базу знаний.</i> Приобретает новую информацию в небольшом масштабе, в рамках выполнения конкретного задания, активно проявляет любознательность и привносит новое из областей, не относящихся к сфере действий по реализации текущего проекта.
В.	3	<i>Приобретает новые или другие знания.</i> Предпринимает значительные усилия для приобретения новых навыков и знаний, поддерживает обширную сеть профессиональных контактов со специалистами в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.
Г		РАСПРОСТРАНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ
Г.	-1	<i>Препятствует.</i> Придерживает полученные самостоятельно дополнительные знания, держит в тайне от коллег новые приемы работы.
Г.	0	<i>Не применимо для данной работы.</i> Не имеет особых знаний, которыми можно поделиться.
Г.	1	<i>Отвечает на вопросы.</i> Распространяет текущую информацию, дает квалифицированный ответ на поставленный вопрос.
Г.	2	<i>Пользуется техническими знаниями для достижения дополнительного воздействия.</i> Дает развернутый ответ на поставленный вопрос, помогает разобраться в сути проблемы и показывает перспективу дальнейшего решения возникшей проблемы.

		Продолжение таблицы №2
1	2	
Г. 3	<i>Предлагает техническую помощь.</i> Выступает в роли «свободного консультанта»: предлагает коллегам личную экспертизу для решения возникающих технических и технологических проблем.	
Г. 4	<i>Защищает и распространяет новые технологии.</i> Активно и безвозмездно распространяет новые технические и технологические знания в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.	
Г. 5	<i>Публикует новые технологии.</i> Публикует в научно-технических журналах статьи о новых методах, используемых при решении задач в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства	

Разработанная шкалированная модель компетенций специалиста инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства положена в основу формирования и внедрения в образовательный процесс системы квалиметрических программно-дидактических тестовых материалов, в которую входит четыре блока: «Создание чертежей деталей, сборочных единиц и изделий в машиностроении (T-FLEX CAD 2D)», «Параметрическое проектирование объемных моделей деталей, сборочных единиц и изделий в машиностроении (T-FLEX CAD 3D)», «Автоматизированное проектирование технологических процессов производства деталей, сборочных единиц и изделий в машиностроении (САПР ТП - ТехноПро)» и «Компьютерные технологии в науке, технике и образовании (КТ)». Эта система предназначена для квалиметрического оценивания качества подготовки специалистов по субшкале А (таблица 2) – глубина знаний в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.

ВЫВОД

Разработка и внедрение в практику деятельности профильного вуза шкалированной обобщенной модели специалистов инженерно-технического профиля со специализацией в области автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства, а также системы квалиметрических программно-дидактических тестовых материалов для оценки уровня подготовленности специалистов с этим направлением специализации позволит педагогическим коллективам выпускающих кафедр технических вузов дифференцировать контингент молодых специалистов по уровню адаптации к условиям информационно-технического пространства современного машиностроительного производства и оптимизировать структуру вектора приоритетов потенциальной сферы профессиональной деятельности выпускников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозова, А.В. Управление процессом профессиональной социализации студентов вузов в условиях модернизации института образования. Монография. [Текст] / А.В. Морозова, Н.А. Фролова. – Орел.: Издательство ОРАГС, 2005. – 200 с.
2. Спенсер, Л. Компетенции на работе [Текст] / Л. Спенсер, С. Спенсер. – М.: Издательство ГИППО, 2010. – 384 с.
3. Boyatzis, R.E. The competent manager: A model for effective performance [Text] / R.E. Boyatzis. – New York: Wiley-Interscience, 1982.
4. EUR-ACE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.enaee.eu/enaee/presentation.htm>

Морозова Анна Валентиновна

Кандидат социологических наук, доцент
 Орловский государственный технический университет
 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел: (4862) 55-55-24, 54-15-19
 E-mail: niotiestu@gmail.com

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 621.3.049

В.Я. ХОРОЛЬСКИЙ, М.С. БОНДАРЬ, А.В. ЕФАНОВ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЬЮТОНА В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В статье рассмотрены самоверяющиеся средства измерения с программно-алгоритмической коррекцией погрешностей. Приведены схемы реализации алгоритма автоматической коррекции погрешностей цифровых вольтметров.

Ключевые слова: информация, метрологическая надежность, погрешность, коррекция.

In article self-calibrated gauges with program-algorithmic correction of errors are considered. Schemes of realization of algorithm of automatic correction of digital voltmeters errors are resulted.

Key words: the information, metrological reliability, an error, correction.

В настоящее время во многих областях науки и производства осуществляется внедрение автоматизированных измерительных комплексов, систем сбора данных и цифровых измерительных приборов. Однако, соответствие цифрового средства измерения требованиям заданной точности устанавливается только при его поверке, выполняемой в рамках метрологического обслуживания. В то время как в другие периоды эксплуатации средство измерения не застраховано от возникновения скрытых метрологических отказов, при которых оно продолжает эксплуатироваться, но дает недостоверную информацию. В результате может иметь место ложная оценка состояния контролируемых параметров объектов, а значит, их неправильная настройка со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Поэтому в настоящее время актуально создание так называемых самоверяющихся средств измерений на основе совместного использования цифрового средства измерения с устройством коррекции. Описанию подобной разработки и посвящена данная статья.

Рассматриваемая разработка предназначена для автоматической коррекции погрешностей цифровых электроизмерительных приборов. Она обеспечивает повышение точности измерения и метрологическую надежность цифровых электроизмерительных приборов, в частности, универсальных цифровых вольтметров (ЦВ) [1].

Как показали проведенные нами исследования, снизить величину погрешности и, тем самым, повысить точность конечного результата измерения, возможно лишь в случае работы цифровых вольтметров в составе измерительно-вычислительного комплекса (ИВК), обеспечивающего автоматическую коррекцию результатов измерений.

В связи с тем, что цифровые вольтметры являются достаточно сложными устройствами, схемы которых характеризуются набором большого количества элементов (операционных усилителей, компараторов напряжения, аналоговых переключателей и др.), то всегда присутствует некоторая погрешность преобразования. В общем случае эта погрешность может содержать аддитивную, мультипликативную и нелинейную составляющие.

Так как аппаратная компенсация погрешностей цифровых вольтметров приводит к значительному усложнению аппаратуры, то целесообразно использовать программно-алгоритмическую автоматическую коррекцию погрешностей, основанную на итерационных методах повышения точности, например, методе касательных (Ньютона). Это позволит обеспечить метрологическую готовность измерительного оборудования без использования стандартных метрологических процедур и дополнительных образцовых приборов.

При итерационной коррекции осуществляется измерение неизвестной величины и ряда значений образцового сигнала, формируемых высокоточным цифро-аналоговым преобразователем, после чего в вычислительном устройстве производятся математические операции с полученными кодами, приводящие к получению цифрового результата измерения, полностью или частично свободного от инструментальных погрешностей [2].

Структурная схема, позволяющая реализовать алгоритм автоматической коррекции погрешностей цифровых вольтметров, показана на рисунке 1.

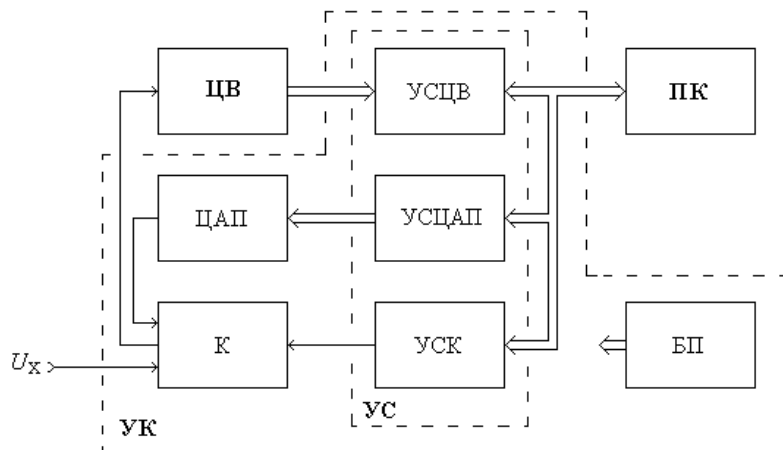


Рисунок 1 – Предварительная схема реализации алгоритма автоматической коррекции погрешностей цифровых вольтметров

В составе этой схемы применены: цифровой вольтметр (ЦВ), персональный компьютер (ПК) и устройство коррекции (УК), которое содержит цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), коммутатор (К), блок питания (БП) и устройства сопряжения (УС) с цифровым вольтметром (УСЦВ), с цифро-аналоговым преобразователем (УСЦАП) и с коммутатором (УСК).

Важнейшим условием успешной реализации данной схемы автоматической коррекции является выбор интерфейса. В результате сравнительного анализа возможных интерфейсов и разводки выходного разъема (МРМ-22) цифрового вольтметра В7-22А было принято решение о применении в информационно-вычислительном комплексе интерфейса Centronics, использующего параллельный порт персонального компьютера (разъем DB25S). При этом рассматриваемая схема устройства автоматической коррекции приняла окончательный вид, представленный на рисунке 2, в которой устройство сопряжения содержит два регистра памяти P1, P2 и дешифратор Д и управляется командами от персонального компьютера ПК.

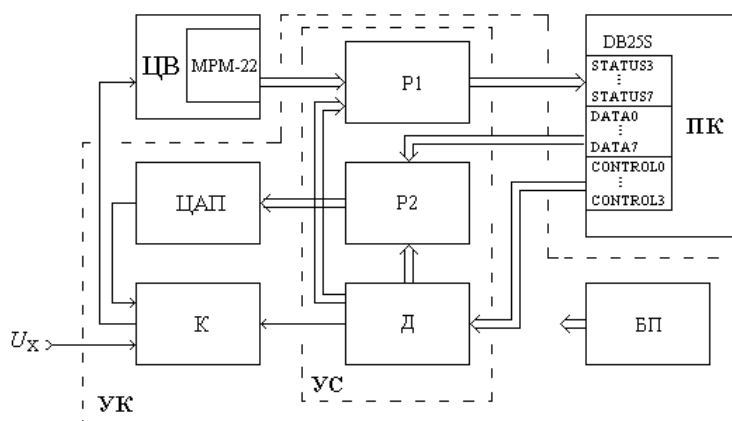


Рисунок 2 – Окончательная схема реализации алгоритма автоматической коррекции погрешностей цифровых вольтметров

В результате проведенных исследований был разработан и реализован измерительно-вычислительный комплекс, содержащий цифровой вольтметр, персональный компьютер и устройство коррекции, фотография которого представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Разработанный измерительно-вычислительный комплекс в режиме автоматической коррекции результатов измерений

Измерительно-вычислительный комплекс функционирует следующим образом.

В исходном состоянии входной измеряемый сигнал U_x через коммутатор поступает на вход цифрового вольтметра В7-22А. Момент окончания измерений определяется персональным компьютером путем анализа кода N_x на выходном разьеме прибора В7-22А. После этого по команде персонального компьютера дешифратор обеспечивает запись выходного кода N_x цифрового вольтметра в регистр Р1 (20-ти разрядная кодограмма в параллельном коде). Затем серией из 4 команд, поступающих с персонального компьютера, дешифратор обеспечивает перезапись выходного кода N_x цифрового вольтметра из первого регистра Р1 (4 серии 5-разрядных кодограмм, представленных в параллельном коде) в персональный компьютер.

Затем персональный компьютер анализирует принятую информацию и формирует код эталонного сигнала $N_э$ – две серии импульсов, несущих информацию о его знаке и модуле, значение которого примерно равно выходному коду цифрового вольтметра $N_э \approx N_x$. После этого по команде персонального компьютера дешифратор обеспечивает запись кода $N_э$ во второй регистр Р2 (12 разрядов параллельного кода) и запись кода знака эталонного сигнала в триггер памяти высокоточного цифроаналогового преобразователя ЦАП.

Кроме того, по команде персонального компьютера дешифратор также обеспечивает запись кода $N_э$ из регистра памяти Р2 во внутренний регистр цифроаналогового преобразователя (12 разрядов параллельного кода). Затем по очередной команде персонального компьютера дешифратор переводит коммутатор в режим коррекции результатов преобразования. При этом цифровой вольтметр ЦВ кодирует эталонное напряжение $U_э$, поступающее с выхода ЦАП, и формирует образцовый код $N_о$, который записывается в регистр памяти Р1 и вводится в персональный компьютер. По разности и отношению кодов N_x и $N_о$ персональный компьютер вычисляет поправочные коэффициенты, с учетом которых выполняется коррекция результата цифрового измерения напряжения U_x цифровым вольтметром.

Дальнейший алгоритм работы измерительно-вычислительного комплекса повторяется вплоть до принятия решения персональным компьютером о достижении заданной точности измерения. Потом по команде ПК дешифратор переводит коммутатор в режим измерения – и измерительно-вычислительный комплекс готов к проведению последующих измерений.

Так как рассмотренный измерительно-вычислительный комплекс реализован на базе персонального компьютера, то исполнительная программа для его работы выполнена в виде ехе-файла. Для запуска программы необходимо нажать клавишу "Измерение", после чего в

окне программы отображается значение измеренной величины. Для расчета скорректированного результата измерения необходимо нажать клавишу "Коррекция", после чего в окне программы отображается значение скорректированного результата (рисунок 4).



Рисунок 4 – Окно программы

Коррекция погрешностей цифрового вольтметра осуществляется в автоматическом режиме, то есть в системе с образцовым цифроаналоговым преобразователем в обратной связи. Разработанная программа позволяет автоматически самостоятельно контролировать уровни составляющих погрешностей в каждой точке характеристики аналого-цифрового преобразователя, применяемого в цифровом вольтметре, и корректирует алгоритм преобразования для обеспечения физической реализуемости и сходимости итерационного процесса.

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что реализация такого функционального преобразования позволяет:

- повысить точность цифровых электроизмерительных приборов и тем самым обеспечить их метрологическую надежность, причем без существенных экономических затрат;
- использовать недорогие цифровые измерительные приборы сравнительно невысокого класса точности вместо точных, но выработавших уставленный ресурс аналоговых измерительных приборов, причем без снижения конечной точности измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев, Т.М. Итерационные методы повышения точности измерений / Т.М. Алиев, А.А. Тер-Хачатуров, А.М. Шекиханов. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
2. Патент РФ № 1714808, МПК⁸ Н03М 1/10. Способ коррекции погрешностей аналого-цифрового преобразования / Шаронов А.В., Мугаллимова О.М., Шаймарданов Ф.А. – Опубл. 23.02.92. Бюл. № 7.

Хорольский Владимир Яковлевич

Невинномысский технологический институт Северо-Кавказского государственного технического университета, г. Невинномысск

Профессор кафедры информационных систем электропривода и автоматики,

доктор технических наук, профессор

Тел. (4862) 42-22-31,

E-mail: sdp@rekom.ru

Бондарь Мария Сергеевна

Ставропольский военный институт связи, г. Ставрополь

Старший преподаватель кафедры технического обеспечения

связи и автоматизированных систем управления

Ефанов Алексей Валерьевич

Невинномысский технологический институт Северо-Кавказского государственного технического университета, г. Невинномысск

Заведующий кафедрой информационных систем электропривода и автоматики,

кандидат технических наук, доцент

Тел. (4862) 42-22-31,

E-mail: sdp@rekom.ru

ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА **И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

УДК 543.544.5.068.7
658.562.012.7

В.А. ГАВРИЛИНА

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ВИНА МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С МНОГОВОЛНОВЫМ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

Обсуждается процедура применения спектральных отношений хроматографических пиков красителей красных натуральных сухих виноградных вин для выявления красителей, несвойственных красным виноградным винам. Основой методики является применение обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии с многоволновой спектрофотометрической детекцией в видимом диапазоне.

Ключевые слова: хроматография, спектральные отношения, вино.

Procedure of application of spectral relation of chromatographic peaks of dyes of red natural dry grape wines for revealing of the dyes unusual for red grape wines is discussed. A technique basis is application of an RPh-phase HPLC with multiwave spekrofotometric detection in a visible range.

Key words: chromatography, spectral relations, wine.

Одним из приемов определения фальсификации красных натуральных виноградных вин является определение в исследуемом образце красителей, несвойственных красным виноградным винам. Для фальсификации могут быть использованы самые разные красители: синтетические, полусинтетические, ягодные, плодовые и т.д. Ассортимент красителей для фальсификации вин с каждым годом увеличивается, поэтому попытки успеть за фальсификаторами при разработке и утверждении методик (по большей части хроматографических или спектроскопических) по идентификации все новых красителей, несвойственных для натуральных вин, обречены на провал. Однако можно поступить иным образом: вместо того, чтобы идентифицировать чужеродные красители, можно установить хроматографические и спектральные характеристики красителей сортовых вин и сравнивать их с хроматографическими и спектральными характеристиками красителей исследуемых образцов. В случае несовпадения характеристик красителей исследуемого образца с характеристиками красителей из банка данных по сортам винам, исследуемое вино считается фальсифицированным. Такая постановка задачи резко упрощает разработку и использование таких методик, так как не требует установления химической структуры как виноградных, так и искусственно внесенных красителей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Хроматографический эксперимент был проведен на хроматографе «Миличром-5 ВУФ-М», имеющем в своем составе сменные сканирующие спектрофотометрические детекторы на УФ-область (190 – 360 нм с дискретностью 2 нм) и видимую область (380 – 720 нм с дискретностью 4 нм).

Условия хроматографирования:

- колонка 80x2, заполненная обращенно-фазовым сорбентом Сепарон С18 (5 мкм);
- расход элюента 100 мкл/мин.;
- температура термостата колонки 35°C;
- длины волн 420, 480, 520, 580, 660 нм;

- постоянная времени детектора 0.4 с.

Для приготовления элюентов использовалась дистиллированная вода, однозамещенный фосфат калия квалификации «хч», орто-фосфорная кислота «хч», ацетонитрил для ВЭЖХ сорт 1 и 2 (фирма «Криохром», Санкт-Петербург), диэтиламин фирмы «Мерк». Буфер «А» готовился следующим образом: к 100см³ 0.02 М КН₂РО₄ приливается 0.5 см³ диэтиламина и 1.5 см³ орто-фосфорной кислоты.

Элюирование производилось в режиме ступенчатого градиента:

- 1 – я ступень: ацетонитрил – А (15: 85 по объему) – 1500 мкл;
- 2 – я ступень: ацетонитрил – А (20: 80 по объему) – 600 мкл;
- 3 – я ступень: ацетонитрил – А (30: 70 по объему) – 600 мкл;
- 4 – я ступень: ацетонитрил – А (40: 60 по объему) – 700 мкл;
- 5 – я ступень: ацетонитрил – А (50: 50 по объему) – 800 мкл;
- Регенерация – 400 мкл;

Объем пробы 6 мкл; перед анализом вино фильтровалось через фильтр с голубой лентой.

Особенностью проведения анализа является практическое отсутствие пробоподготовки, т.е. вино вводилось в колонку в нативной форме. При повышении давления (через 15 – 20 анализов), в хроматографической колонке заменялся входной фильтр.

Типичная хроматограмма красителей красного сухого виноградного вина представлена на рисунке 1.

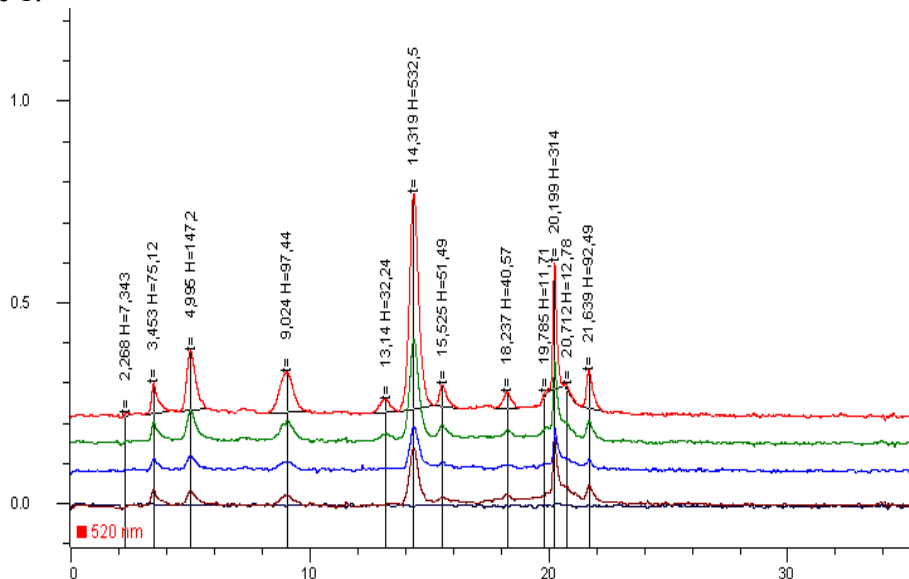


Рисунок 1 – Хроматограмма исходного виноматериала «Красностоп Золотовский»
красная линия – длина волны 520 нм, зеленая – 480 нм, синяя – 420 нм,
коричневая – 580 нм, черная – 660 нм

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ПИКОВ НАТУРАЛЬНЫХ ВИНОГРАДНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

Основными хроматографическими величинами, используемыми для идентификации хроматографических пиков являются времена удерживания и спектральные отношения [1,2]:

$$D = A_{\lambda 1} / A_{\lambda 2}, \quad (1)$$

где D – спектральное отношение;

$A_{\lambda 1}$ – оптическая плотность хроматографического пика на длине волны λ_1 ;

$A_{\lambda 2}$ – оптическая плотность хроматографического пика на длине волны λ_2 .

Спектральные отношения могут быть использованы для идентификации соединений при соотношении «сигнал/шум», большем 10 (относительная погрешность определения спектральных отношений $\pm 10\%$). При увеличении соотношения погрешность определения спектральных отношений быстро уменьшается и, при соотношении «сигнал/шум» большем 30, погрешность составляет величины, меньшие $\pm 4\%$. Таким образом, для получения спек-

тральных отношений хроматографических пиков красителей, необходимо использовать наиболее интенсивные пики.

Для получения хроматографических и спектральных характеристик красителей красных сухих натуральных виноградных вин были получены многоволновые хроматограммы (длины волн 420, 480, 520, 580, 660 нм) сортовых виноматериалов «Изабелла», «Саперави», «Каберне», «Мерло» и «Красностоп Золотовский».

Для каждого сортового виноматериала были получены времена удерживания, интенсивности и спектральные отношения (табл. 1) В дальнейшем эти параметры пиков должны быть использованы для выявления в винах несвойственных им красителей.

Таблица 1 – Таблица хроматографических пиков виноматериала «Красностоп Золотовский 1/1»

Время удерживания t_R , мин.	Интенсивность при 520 нм	Интенсивность при 480 нм	Интенсивность При 420 нм	Интенсивность при 580 нм	Интенсивность при 660 нм
3,45	75,12	45,67	30,77	39,38	-
5,00	147,2	71,14	30,48	30,75	-
9,02	97,44	17,78	22,61	25,32	-
13,14	32,24	13,22	-	-	-
14,31	532,5	243,5	101,2	138,6	-
15,52	51,49	27,74	-	-	-
18,24	40,57	-	-	11,08	-
20,20	314,0	168,9	85,33	135,8	6,143
21,64	92,49	43,44	17,37	36,78	-

Выделены три наиболее интенсивных хроматографических пика с соотношениями «сигнал/шум», большим 30 для длин волн 520 и 480 нм. Таким образом, и в дальнейшем будут использованы спектральные отношения $D = A_{520}/A_{480}$.

В таблице 2 представлены времена удерживания и спектральные отношения наиболее интенсивных пиков красителей сортовых виноматериалов «Изабелла», «Саперави», «Каберне», «Мерло» и «Красностоп Золотовский».

Таблица 2 – Времена удерживания и спектральные отношения наиболее интенсивных пиков красителей сортовых виноматериалов

Виноматериал	Время удерживания, мин	Спектральное отношение $D = A_{520}/A_{480}$
«Саперави»	14,26	2,01
	15,00	2,18
	20,29	1,89
«Каберне»	14,37	2,11
	20,19	2,17
	21,65	2,72
«Мерло»	13,70	1,90
	14,62	2,19
	20,20	1,83
«Красностоп Золотовский»	5,00	2,07
	14,31	2,19
	20,20	1,86
«Изабелла»	13,76	1,97
	14,73	2,19
	20,22	1,48

Максимальная относительная погрешность при определении времен удерживания в градиентном режиме для хроматографов серии «Милихром» составляет $\pm 6\%$, при определении спектральных отношений $\pm 10\%$ (при соотношении «сигнал/шум» 10:1).

Таким образом, для вин «Саперави», «Каберне», «Мерло», «Красностоп Золотовский» и их смесей, максимальный диапазон спектральных отношений $D = A_{520}/A_{480}$ составляет **1.65 – 2.99**.

Для «Изабеллы» нижний край диапазона составляет величину **1.33**.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОВАРНЫХ КРАСНЫХ НАТУРАЛЬНЫХ ВИНОГРАДНЫХ ВИН

Определенный интерес представляет анализ группы вин, заявленных под названием «Изабелла». Вино, купленное в магазине, было упаковано в «тетрапак». Хроматограмма красителей представлена на рисунке 2.

Хроматограмма представляет один пик со временем удерживания 20.21 мин. и спектральным соотношением $D = A_{520}/A_{480}$ равным **0.89**, что не соответствует натуральному красителю.

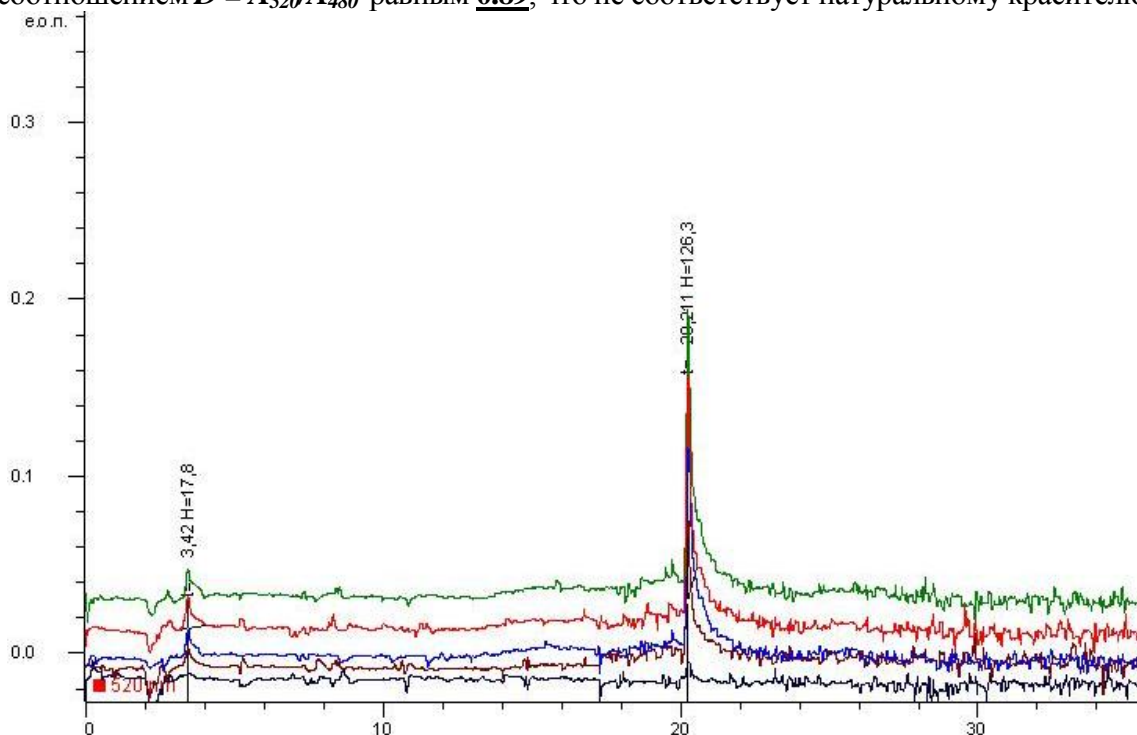


Рисунок 2 – Хроматограмма красителей вина «Изабелла» (полусладкое, красное, натуральное)

В таблице 3 представлены спектральные отношения наиболее интенсивных пиков красителей красных сухих натуральных вин.

Таблица 3 – Времена удерживания и спектральные отношения наиболее интенсивных пиков красителей сухих натуральных вин

Номер образца	Вино	$D = A_{520}/A_{480}$	Диапазон значений $D = A_{520}/A_{480}$
1	«Мерло» 1	1,23	1,65 – 2,99
2	«Мерло» 2	1,58	1,65 – 2,99
3	«Мерло» 3	2,28	1,65 – 2,99
4	«Фигаро»	2,28	1,65 – 2,99
5	«Фабиас де Костелло»	2,30	1,65 – 2,99
6	«Мерло» 4	2,28	1,65 – 2,99
7	«Изабелла» 1	0,89	1,33 – 2,40
8	«Изабелла» 2	0,89	1,33 – 2,40
9	«Изабелла» 3	1,34	1,33 – 2,40

Особый интерес представляет образец «Изабелла» 3. В таблице 4 полностью приведены характеристики красителей этого образца.

Таблица 4 – Таблица хроматографических пиков вина «Изабелла» 3

Время удерживания t_R , мин.	Интенсивность при 520 нм	Интенсивность при 480 нм	Спектральное отношение 520/480 нм
3,53	30,98	26,98	1,15
14,35	18,00	12,18	1,48
15,37	58,93	28,52	2,07
20,30	103,7	77,5	1,34

По хроматограмме красителей можно сделать следующие выводы:

1. Это действительно вино, полученное из винограда «Изабелла».
2. Это вино смешано из любого виноматериала типа «Мерло» или «Красностоп», в который добавлен краситель типа «Мерло» КПИ1 и ароматизатор.

Для проверки этих гипотез необходимо получить хроматограмму вина в УФ-диапазоне при следующих условиях:

Условия хроматографирования:

- колонка 80x2, заполненная обращенно-фазовым сорбентом Сепарон С18 (5 мкм);
- расход элюента 100 мкл/мин.;
- температура термостата колонки 35°C;
- длины волн 420, 480, 520, 580, 660 нм;
- постоянная времени детектора 0.4 с.

Для приготовления элюентов использовалась дистиллированная вода, однозамещенный фосфат калия квалификации «хч», орто-фосфорная кислота «хч», ацетонитрил для ВЭЖХ сорт 1 и 2 (фирма «Криохром», Санкт-Петербург), диэтиламин фирмы «Мерк». Буфер «А» готовился следующим образом: к 100см³ 0.02 М КН₂РО₄ приливается 0.5 см³ диэтиламина и 1.5 см³ орто-фосфорной кислоты.

Элюирование производилось в режиме ступенчатого градиента:

- 1 – я ступень: буфер – 700 мкл;
- 2 – я ступень: ацетонитрил – буфер (5: 95 по объему) – 500 мкл;
- 3 – я ступень: ацетонитрил – буфер (10: 90 по объему) – 500 мкл;
- 4 – я ступень: ацетонитрил – буфер (15: 85 по объему) – 800 мкл;
- 5 – я ступень: ацетонитрил – буфер (20: 80 по объему) – 750 мкл;
- 6 – я ступень: ацетонитрил – буфер (30: 70 по объему) – 650 мкл;
- 7 – я ступень: ацетонитрил – буфер (40: 60 по объему) – 550 мкл;
- 8 – я ступень: ацетонитрил – буфер (50: 50 по объему) – 550 мкл.

5. Регенерация – 400 мкл;

6. Расход элюента 100 мкл/мин.;

7. Объем пробы 6 мкл; перед анализом вино фильтровалось через фильтр с голубой лентой.

Необходимость проведения эксперимента в УФ-диапазоне связана со следующими соображениями:

- виноматериал «Изабелла», в отличие от виноматериала других красных вин («Мерло», «Каберне» или «Красностоп») не содержит галловой кислоты (см. рис. 3). Таким образом, наличие галловой кислоты в образце вина «Изабелла» подтвердила бы предположение об использовании в вине другого виноматериала.
- использование ароматизаторов, как правило, хорошо поглощающих в УФ-области, приводит к появлению на хроматограммах вин большого пика, в несколько раз превышающего по интенсивности основные компоненты вина и не проявляющегося в виноматериале.

Последовательно рассмотрим эти гипотезы.

Так на рисунке 3 а, б, в представлены хроматограммы в УФ-диапазоне на длинах волн 279 и 320 нм (в данном случае для наглядности с картинки убраны длины волн 210, 230 и 254 нм).

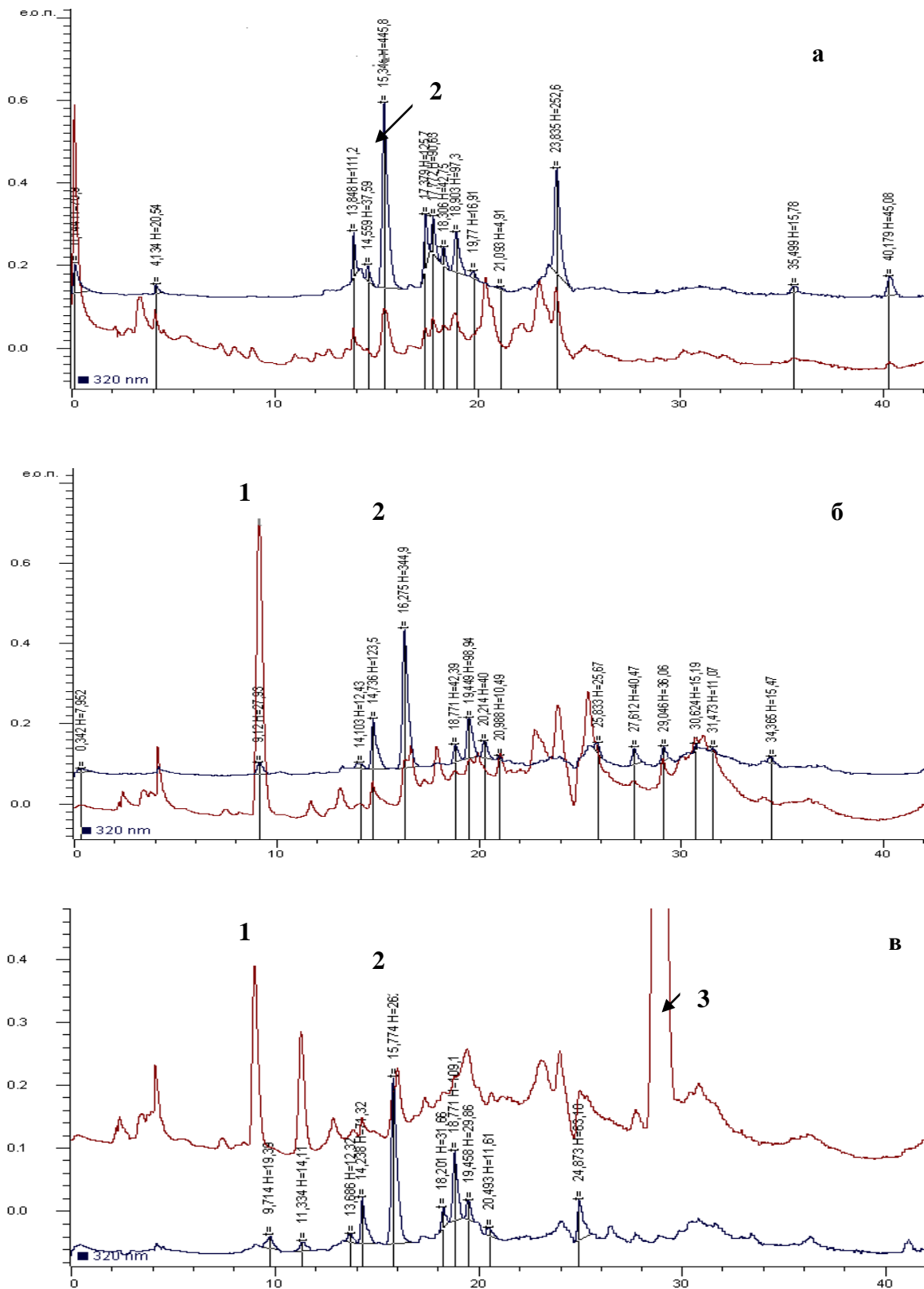


Рисунок 3 – Хроматограммы
 а) – виноматериала «Изабелла», б) вина «Каберне», в) вина «Изабелла»
 3. 1 – галловая кислота, 2 – оксикоричная кислота,
 3 – ароматизатор Коричневая линия – 270 нм, черная – 320 нм

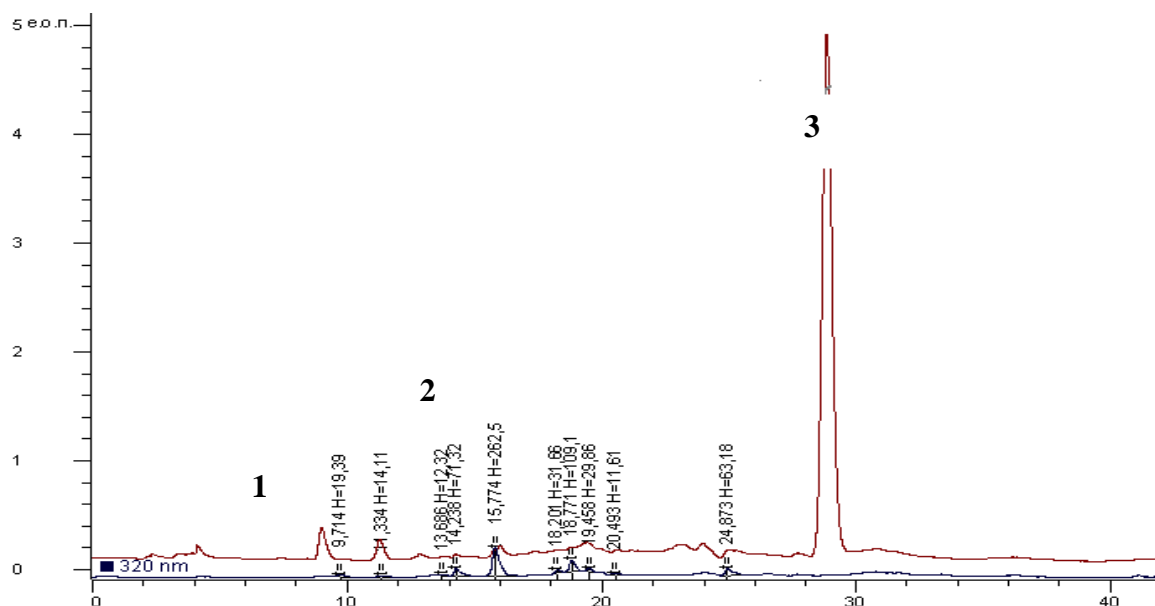


Рисунок 4 – Хроматограмма вина «Изабелла» 3 в загрубленном масштабе
 1 – галловая кислота, 2 – оксикоричная кислота,
 3 – ароматизатор Коричневая линия – 270 нм, черная – 320 нм

Из рисунков 3, 4 следует, что для изготовления вина «Изабелла» использовался вино-материал из другого винограда (наличие пика 1 галловой кислоты в вине «Изабелла»), добавлялся ароматизатор (пик 3).

ВЫВОДЫ

1. Использование спектральных отношений позволяет легко определить красители, несвойственные красным натуральным виноградным винам.
2. Из девяти испытанных образцов четыре содержали не виноградные красители и один – ароматизатор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев, С.Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография на микроколоночных жидкостных хроматографах серии «Милихром» / С.Н. Сычев, К.С. Сычев, В.А. Гаврилина. – Орел: ОрелГТУ, 2002. – 135 с.
2. Барам, Г.И. Микроколоночная жидкостная хроматография с многоволновой детекцией. Микроколоночный жидкостной хроматограф «Обь-4» / Г.И. Барам, Ю.А. Болванов, М.А. Грачев и др. – Новосибирск: ИЯФ СО АН СССР, 1983. – 38 с.

Гаврилина Вера Александровна

Орловский государственный технический университет, г.Орел
 Кандидат технических наук, доцент, инженер лаборатории «Жидкостная хроматография»
 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел. 8(486)41-98-92
 E-mail: chemistry@ostu.ru

А.С. КОСМОДАМИАНСКИЙ

РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГРЕБНЕСМАЗЫВАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

Описывается блок автоматического управления системой гребнесмазывания бандажей колесных пар локомотивов, реверсирования и автоматического регулирования периодичности времени смазывания гребней колесных пар локомотивов.

Ключевые слова: автоматическая система, гребнесмазывание бандажей, локомотив.

The automatic control block for locomotives wheel pair band comb greasing, reversal and automatic adjustment of locomotives wheel pair comb greasing time periodicity is described.

Key words: automatic system, band comb greasing, locomotive.

В 2007 г. в локомотивном депо Сургут Свердловской железной дороги была разработана и внедрена на тепловозе ТЭМ7 № 0071 пневматическая система гребнесмазывания бандажей колесных пар с ручным управлением от тумблера, расположенного на пульте управления машиниста.

Был разработан и предложен к внедрению блок автоматического управления системой гребнесмазывания бандажей колесных пар локомотивов, реверсирования и автоматического регулирования периодичности времени смазывания гребней колесных пар локомотивов, при помощи которого полностью автоматизируется управление системой гребнесмазывания. Это дает существенное повышение качества смазывания гребней колесных пар, исключает работу системы гребнесмазывания во время стоянки локомотива и на нулевой позиции контроллера машиниста при работающем дизеле. Тем самым исключается боксование колесных пар локомотива как во время трогания, так и при движении локомотива с составом. Блок состоит из двух реле времени ВЛ-50У3, трех промежуточных реле типа ТРПУ-УХЛ3 и тумблера ТВ-1-4 (рисунок 1). Включение блока производится автоматически.

После постановки рукоятки контроллера машиниста на первую позицию, получают питание поездные контакторы, после срабатывания которых получает питание катушка промежуточного реле ПР-1 по цепи – «плюс» аккумуляторной батареи, замкнутый контакт контроллера машиниста, клеммная рейка К-1, от клеммы 1К-243 через тумблер реостатных испытаний (ТРИ), катушка промежуточного реле ПР-1.

Промежуточное реле ПР-1 находится в цепи питания контактора возбуждения генератора (КВГ), которым блок автоматического управления гребнесмазыванием отключается при реостатных испытаниях тепловоза. Получив питание, промежуточное реле ПР-1 замыкает свою блокировку и подает питание на катушку промежуточного реле ПР-2 по цепи – «плюсовая» клеммная рейка К-3, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-1, размыкающая блокировка реле времени РВ-1 с выдержкой времени на размыкание, катушка промежуточного реле ПР-2.

Одновременно с промежуточным реле ПР-2 получает питание реле времени РВ-1 по цепи – «плюсовая» клеммная рейка К-3, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-1, размыкающая блокировка реле времени РВ-2 с выдержкой времени на отключение, катушка реле времени РВ-1. Получив питание РВ-1, начинает отсчет времени.

Получив питание, промежуточное реле ПР-2 включает, своими размыкающими контактами разрывает цепь питания катушки реле времени РВ-2 и своими замыкающими контактами создает цепь питания катушки промежуточного реле ПР-3 по цепи – «плюсовая» клеммная рейка К3, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-1, замкнутые контакты промежуточного реле ПР-2, катушка промежуточного реле ПР-3.

Получив питание, промежуточное реле ПР-3 своими замыкающими контактами создает цепь питания катушек электропневматических вентилях (ЭПВ) системы гребнесмазывания,

которые разбиты на две группы: 1-я – при движении локомотива «вперед»; 2-я – при движении локомотива «назад». Питание ЭПВ в зависимости от направления движения осуществляется с клемм реверсивного барабана контроллера машиниста А4 (при движении локомотива «вперед») и Б4 (при движении локомотива «назад») по цепи – «плюсовая» клеммная рейка КЗ, замкнутый контакт реверсора при движении «вперед», замыкающие контакты промежуточного реле РР-3, катушка пневматического вентиля при движении «вперед» (ВПВ).

Получив питание, РВ-1 начинает отсчет времени. Через 20–30 секунд РВ-1 своими размыкающими контактами разрывает цепь питания катушки реле РР-2. Отключившись, РР-2 своими размыкающими контактами разрывает цепь питания катушки реле РР-3, которое своими размыкающими контактами разрывает цепь питания ЭПВ системы гребнесмазывания. Своими нормально замкнутыми контактами реле РР-2 создает цепь питания катушки РВ-2. Получив питание, РВ-2 начинает отсчет времени. Через 10–15 секунд РВ-2 своей размыкающей блокировкой разрывает цепь питания катушки РВ-1. Отключившись, РВ-1 своими размыкающими контактами с выдержкой времени на размыкание создает цепь питания катушки промежуточного реле РР-2. Цикл повторяется.

Таким образом, можно регулировать периодичность смазывания гребней колесных пар тепловоза. При установке контроллера машиниста на нулевую позицию снимается питание с катушки РР-1, тем самым система гребнесмазывания отключается.

При выполнении маневровой работы, машинисту локомотива часто приходится набирать и сбрасывать позиции контроллера, что негативно может сказаться на работе блока автоматической системы гребнесмазывания. В момент трогания поезда с места локомотивом реализуются большие тяговые усилия и подача смазки несколько снижает коэффициент сцепления колес с рельсом.

Чтобы обеспечить более устойчивую работу системы гребнесмазывания, разработано реле пуска блока автоматического управления системой гребнесмазывания. Реле пуска выполнено на базе реле времени типа ВЛ-50У3.

При постановке рукоятки контроллера машиниста на первую позицию получают питание поездные контакторы и с клеммы 1К243 получает питание катушка реле времени РВП. Получив питание, РВП начинает отсчет времени и через 30–40 секунд своими замыкающими контактами с выдержкой времени на замыкание создает цепь питания катушки промежуточного реле РР-1. Получив питание, промежуточное реле РР-1 включается и производит

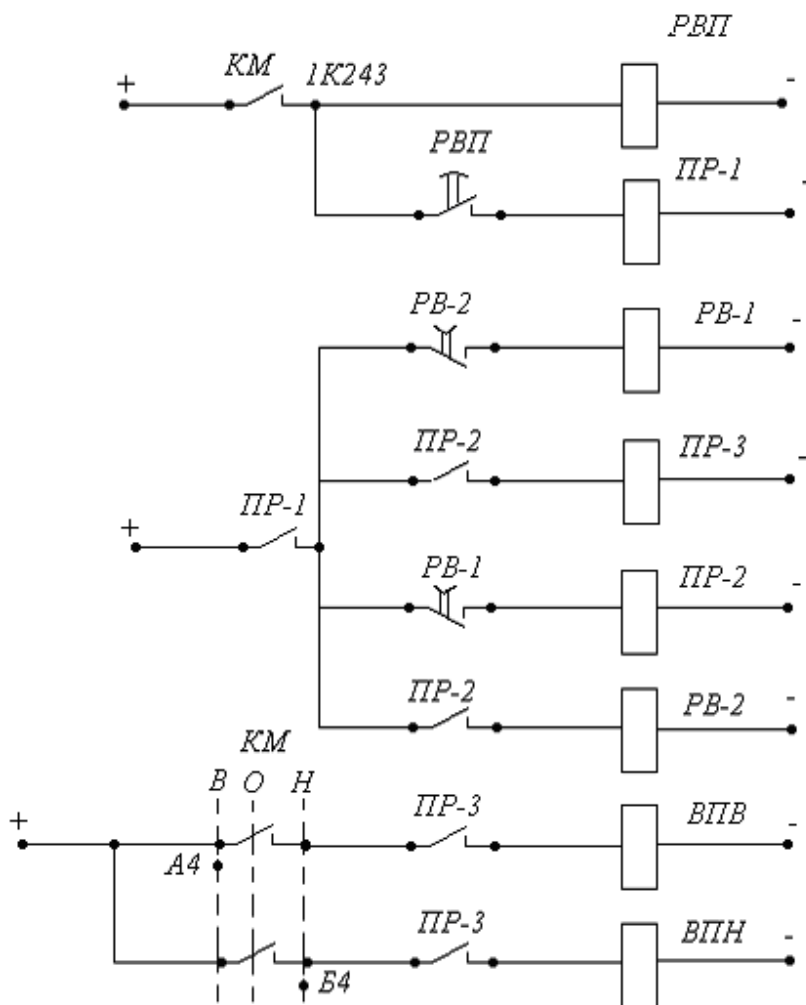


Рисунок 1 – Электрическая схема реле пуска блока автоматической системы гребнесмазывания гребней бандажей колесных пар

включение блока автоматической системы гребнесмазывания. При этом своими замыкающими контактами промежуточное реле ПР-1 создает цепь питания сигнальной лампы «Гребнесмазыватель вкл.», расположенную на пульте машиниста, которая сигнализирует о включении блока автоматической системы гребнесмазывания.

При постановке рукоятки контроллера машиниста на нулевую позицию теряет питание катушка реле пуска РВП, своим контактом оно разрывает цепь питания катушки промежуточного реле ПР-1, которое в свою очередь отключает блок автоматической системы гребнесмазывания и через блокировочный контакт подает питание на сигнальную лампу «Гребнесмазыватель выкл.»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Локомотивостроение» / А.А. Камаев, Н.Г. Апанович, В.А. Камаев и др.; под ред. А.А. Камаева. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
2. Основы теории: расчет и конструирование локомотивов / И.П. Бородулин и др. – М.: Машиностроение, 1964. – 264 с.
3. Автоматика и автоматические системы транспортных машин: учеб. пособие / А.С. Космодамианский [и др.]. – Орел: ОрелГТУ, 2008. – 104 с.
4. Вилькевич, В.И. Автоматическое управление электрической передачей и электрические схемы тепловозов / В.И. Вилькевич. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

Космодамианский Андрей Сергеевич

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), г. Москва
Д-р техн. наук, зав. кафедрой «Тяговый подвижной состав» МИИТ
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9
E-mail: askosm@yandex.ru

Е.В. ПАХОЛКИН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СМАЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Приводится описание экспериментальных исследований. Адгезионные свойства масел исследуются на основе теории электрорезистивных методов. Методика исследований предполагает комплексирование электрических диагностических параметров. Повышение информативности метода обеспечивает получение информации об исследуемом свойстве масел.

Ключевые слова: смазывающая способность масел, экспериментальные зависимости, электрические методы трибомониторинга.

The description of experimental researches is resulted. Adhesive properties of oils are investigated on the basis of the theory of electroresistive methods. The technique of probes assumes application of several electric diagnostic parameters. Increase of method informative a provides reception of the information on investigated property of oils.

Key words: oiliness of engine oils, experimental dependences, electric methods of tribomonitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих узлах трения наблюдаются различные (переменные) режимы смазки, и при переходе к граничной смазке в трибосопряжении снижение трения и изнашивания определяется уже не реологическими свойствами масла. Граничное смазывание заключается в образовании на трущихся поверхностях адсорбированной пленки масла толщиной порядка 0,1 мкм [1]. Способность масла образовывать масляную пленку зависит от типа базовой основы масла и от наличия в нем поверхностно-активных полярных молекул, которые адсорбируются на поверхности трения. Степень адгезионной способности масел в данном аспекте называют смазывающей способностью, кроме того, применяются также термины «маслянистость», «липкость».

В работе [2] приведены результаты моделирования среднего сопротивления R зоны трения с учетом следующих составляющих сопротивлений:

$R_{см}$ – смазочного материала, разделяющего трущиеся металлические поверхности;

$R_{окс}$ – поверхностных неметаллических твердых слоев (окисных пленок, например);

$R_{м}$ – металлического контакта;

$R_{адг.сл.}$ – адгезионного смазочного слоя.

В данной работе основное внимание будет уделено процессам формирования адгезионных смазочных слоев. Остальные особенности фрикционного взаимодействия, в частности, вид контакта, являются второстепенными.

Среднее сопротивление R электрической цепи без учета особенностей процессов контактирования поверхностей (упругое или пластичное) может быть описано выражением:

$$R = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T_k} R_M dt + \int_0^{T-T_k} R_{см} dt \right], \quad (1)$$

где T_k – суммарное время электрического микроконтактирования;

T – время измерения диагностического параметра.

В формуле (1) не учитывается параллельный характер соединения сопротивлений $R_{см}$ и R_M в момент контактирования, так как это вносит несущественную погрешность оценки сопротивления.

Преобразование выражения (1) позволяет получить:

$$R = \frac{T_k}{T} \cdot R_M + \frac{T}{T} \cdot R_{см} - \frac{T_k}{T} \cdot R_{см}. \quad (2)$$

С учетом понятия о параметре НИВ ($K = \frac{T_K}{T}$) окончательно выражение (2) можно записать в следующем виде:

$$R = K \cdot R_M + R_{CM} \cdot (1 - K) \quad (3)$$

Постановка эксперимента, предполагающая реализацию граничного трения в трибосопряжении, требует замены в (5.3) R_{CM} на $R_{адг.сл.}$. В этом случае

$$R_{адг.сл.} = \frac{R - K \cdot R_M}{(1 - K)} \quad (4)$$

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения экспериментальных исследований были подготовлены три пробы масла. Основа проб масел – минеральное масло И-20А, функциональные добавки описаны в таблице 1.

Таблица 1 – Описание проб масел

Номер пробы	Компоненты
№1	масло И-20А, пропионовая кислота, энантовая кислота, ундекановая кислота
№2	масло И-20А, энантовая кислота, ундекановая кислота
№3	масло И-20А, бензойная кислота, энантовая кислота, ундекановая кислота

Количество функциональных добавок в пробах составляло по 1 % для каждой кислоты.

В качестве испытательного трибосопряжения был использован подшипник 1000900, который перед каждым измерением электрических параметров промывался в растворителе (н-гексан) и подвергался сушке.

Стенд, на который устанавливался испытательный подшипник, показан на рисунке 1. Стенд обладает следующими функциональными возможностями: вращение внутреннего кольца, радиальное нагружение подшипника, обеспечение токосъема с деталей подшипника, измерение и индикация значения радиальной нагрузки, задание частоты вращения кольца подшипника с индикацией значения частоты.

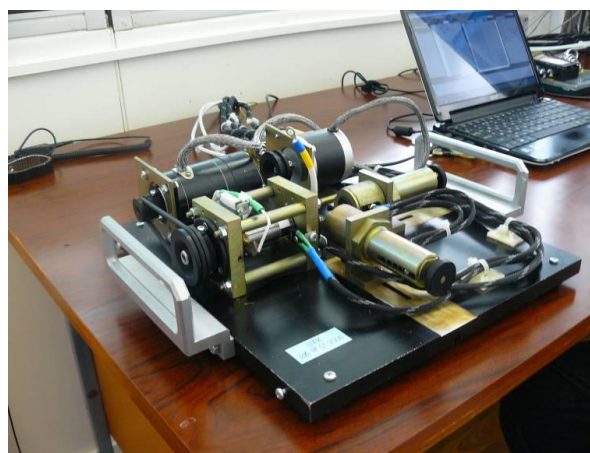


Рисунок 1 – Стенд приработки подшипников СППК (разработка ООО «НПП «Астрон Электроника»)

В качестве измерительного оборудования использовался прибор ИПЭК-1 ТУ 4276-195-02069036-2005 (разработчик – ОрелГТУ, г. Орел) для измерения нормированного интегрального времени электрического контактирования и измеритель электрических параметров трибосопряжений ИЭПТ [3] для измерения среднего сопротивления.

Дозирование проб масла в подшипник осуществлялось дозатором с ценой деления 1 мкл в количестве 3 мкл при каждом измерении.

Для обеспечения условий трения с граничной смазкой задавалась минимальная (реализуемая стендом) частота вращения внутреннего кольца подшипника 300 мин⁻¹. Значение радиальной нагрузки составляло 50 Н.

На рисунке 2 показана типовая временная зависимость параметра НИВ, полученная в процессе приработки подшипника. Приработка осуществлялась с целью стабилизации режима трения, так как сопротивление и НИВ измерялись последовательно во времени.

В таблицах 2 – 4 приведены результаты измерения диагностических параметров для различных проб масел. При измерении параметров было реализовано по три измерения с применением трех различных подшипников одной партии.

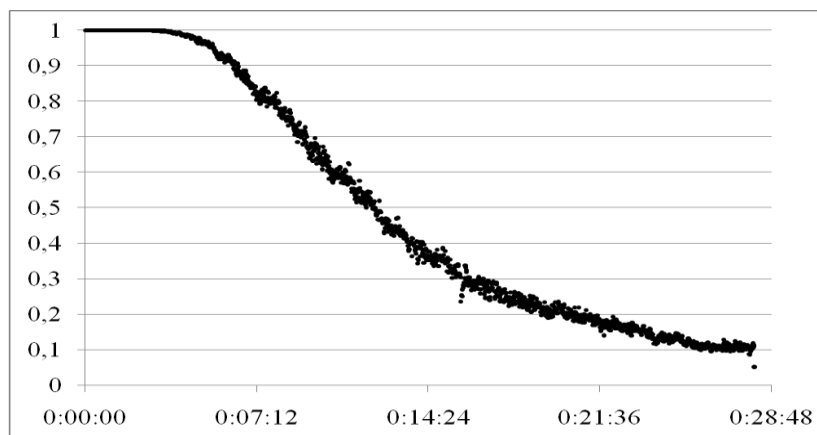


Рисунок 2 – Типовой вид изменения параметра НИВ в процессе приработки подшипника

Таблица 2 – Результаты измерений для пробы 1

Номер подшипника	НИВ	R , кОм	$R_{\text{адг.сл.}}$, кОм
подшипник 1	0,256958381	0,645455	2,510904838
подшипник 2	0,054391631	1,581818	29,08101055
подшипник 3	0,080525385	1,354545455	16,82034706

Таблица 3 – Результаты измерений для пробы 2

Номер подшипника	НИВ	R , кОм	$R_{\text{адг.сл.}}$, кОм
подшипник 1	0,036247445	1,876923077	51,77983803
подшипник 2	0,053479573	1,716666667	32,09848355
подшипник 3	0,20190359	0,9	4,456573038

Таблица 4 – Результаты измерений для пробы 3

Номер подшипника	НИВ	R , кОм	$R_{\text{адг.сл.}}$, кОм
подшипник 1	0,067052585	1,463636364	21,82718699
подшипник 2	0,078119294	1,31	16,76822479
подшипник 3	0,248988145	0,71	2,850541382

Для сравнения полученных результатов был реализован следующий алгоритм:

- для каждой пробы масла были найдены регрессионные зависимости $R_{\text{адг.сл.}} = f(\text{НИВ})$;
- после установления регрессионных зависимостей для каждой пробы были найдены значения сопротивления $R_{\text{адг.сл.}}$, соответствующие единому уровню параметра НИВ (уровню 0,1).

Результаты регрессионного анализа и расчета сопротивления адгезионного слоя показаны на рисунке 3.

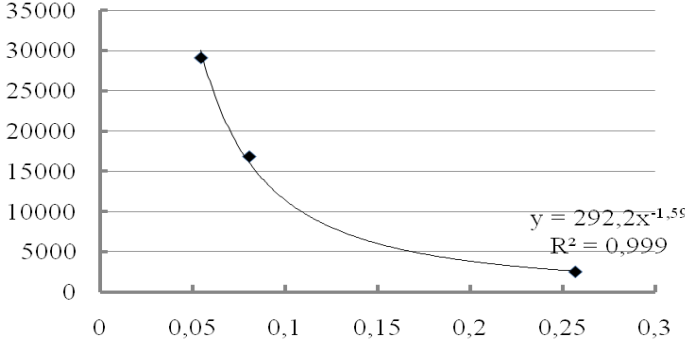
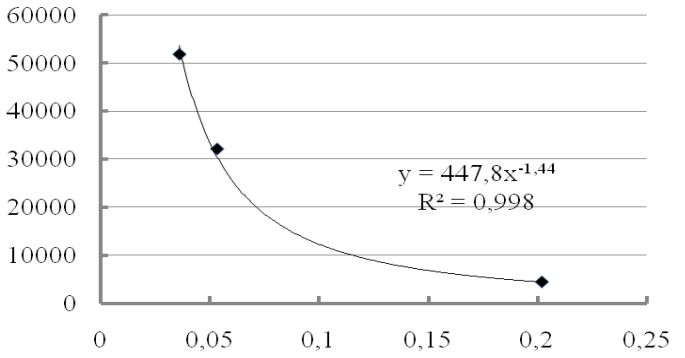
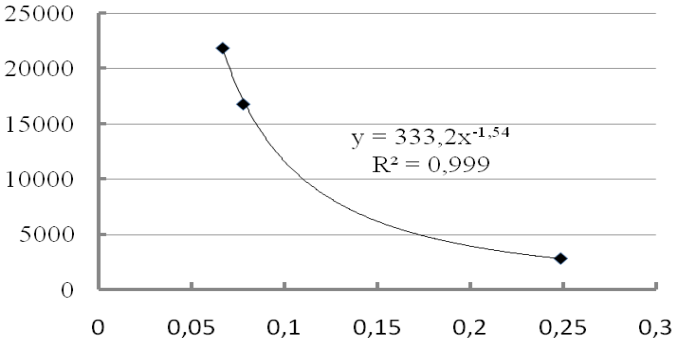
Вид зависимости	Номер пробы	$R_{адг.сл.}, Ом$ (при НИВ=0,1)
	1	11368
	2	12333
	3	11553

Рисунок 3 – Зависимость сопротивления адгезионного слоя от НИВ для различных проб масел

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали, что наблюдается различие в адгезионной способности минерального масла при добавлении в него функциональных присадок различного состава. Наибольшей смазочной способностью обладает проба 2. При этом предложенный метод обладает сравнительной простотой реализации, требует малых объемов пробы для исследования, характеризуется высокой чувствительностью.

Работа выполняется при поддержке аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)", код проекта 2.1.2/2075.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моторные масла [Текст] / Р. Балтенас, А.С. Сафронов, А.И. Ушаков, В. Шергалес. – Москва-Спб.: Альфа-Лаб, 2000. -272 с.
2. Пахолкин, Е.В. О комплексном исследовании адгезионной способности смазочных материалов электрическим методом [Текст] / Е.В. Пахолкин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел, ОрелГТУ, 2010. – №1/276(592). – С. 113-118.
3. Пахолкин, Е.В. Приборы для трибомониторинга [Текст] / Е.В. Пахолкин, К.В. Подмастерьев // Датчики. Системы. 2008, №3. – С. 16-19.

Пахолкин Евгений Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. (4862) 416684
E-mail: Eugene_P@bk.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей.

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу иверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- Сведения об авторах приводятся в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта.
- В тексте статьи желательно:
 - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - не применять произвольные словообразования;
 - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.
- **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**
- **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.
- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравниваются по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

Рисунок 1 – Текст подписи

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте www.ostu.ru.

Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.

Адрес учредителя:

Орловский государственный технический университет
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90
www.ostu.ru
E-mail: nmu@ostu.ru

Технический редактор О.Ю. Григорьева
Компьютерная верстка О.Ю. Григорьева

Подписано в печать 21.09.2010 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 8,1.
Тираж 600 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.