

Министерство образования и науки Российской Федерации
Администрация Тамбовской области
Неправительственный экологический фонд имени В. И. Вернадского
Ассоциация «Объединенный университет имени В. И. Вернадского»
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

**В. И. ВЕРНАДСКИЙ:
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ**

**V. I. VERNADSKY:
SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF THE REGIONS**

Материалы Международной научно-практической конференции

Том 3

Научное электронное издание комплексного распространения



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2016

УДК 504(0.034)

ББК Б1я43+з6я43+У28я43

В11

Редакционная коллегия:

В. А. Грачев – президент и генеральный директор Неправительственного экологического фонда имени В. И. Вернадского, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., *М. Н. Краснянский* – ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», президент Ассоциации «Объединенный университет имени В. И. Вернадского», д-р техн. наук, проф. РАН, *Н. В. Молоткова* – первый проректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», чл.-корр. РАН, д-р пед. наук, проф., *Д. Ю. Муромцев* – проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», д-р техн. наук, проф., *Е. С. Мищенко* – проректор по международной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», д-р экон. наук, проф., *В. Ф. Калинин* – вице-президент Ассоциации «Объединенный университет имени В. И. Вернадского», советник при ректорате ФГБОУ ВО «ТГТУ», д-р техн. наук, проф., *А. В. Козачек* – исполнительный директор Ассоциации «Объединенный университет имени В. И. Вернадского», доц. кафедры «Природопользование и защита окружающей среды» ФГБОУ ВО «ТГТУ», канд. пед. наук, доцент, *Д. О. Завражин* – начальник отдела научно-технических программ ФГБОУ ВО «ТГТУ», канд. техн. наук, доц.

В11 В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-практической конференции. В 5 т. Т. 3 / под науч. ред. В. А. Грачева, М. Н. Краснянского, Н. В. Молотковой и др. ; отв. ред. А. В. Козачек ; Междунар. науч.-практ. конф., 7 – 9 июня 2016 г., г. Тамбов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод. – 00,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана. – 100 шт.
ISBN 978-5-8265-1633-1; ISBN 978-5-8265-1636-2

Отражены результаты научных разработок ученых в области устойчивого развития регионов.

В третий том сборника трудов вошли научные работы, посвященные вопросам промышленной экологии, современных производств и окружающей среды, экологии человека, систем обеспечения химической, биологической, медицинской и экологической безопасности человека, экологической стандартизации, сертификации, метрологии, приборам и методам контроля качества окружающей среды и антропогенных воздействий.

Предназначены для ученых и преподавателей, а также всех интересующихся вопросами устойчивого развития.

УДК 504(0.034)

ББК Б1я43+з6я43+У28я43

Подготовлены по материалам, предоставленным в электронном варианте, и сохраняют авторскую редакцию.

Оргкомитет, Программный комитет, Секретариат конференции и редакция ответственности за содержание предоставленных авторами материалов не несут.

ISBN 978-5-8265-1636-2 (т. 3)
ISBN 978-5-8265-1633-1

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Промышленная экология, современные производства и окружающая среда	7
<i>Володин И. М., Телегин И. В.</i> Ресурсосберегающие технологии горячей объемной штамповки	7
<i>Дмитриев О. С., Живенкова А. А., Дмитриев А. О.</i> Анализ проблем производства толстостенных изделий из полимерных композитов	12
<i>Москвитин С. П.</i> Метод совместной пластической деформации различных металлов с использованием электропластического эффекта	16
<i>Алтунин К. А., Соколов М. В.</i> Алгоритм определения погрешности токарной обработки с применением программ твердотельного моделирования	20
<i>Малыгин Е. Н., Фидаров В. Х., Дашков А. В.</i> Выбор инструментального материала для труднообрабатываемых изделий	26
<i>Ванин В. А.</i> Кинематическая структура металлорежущих станков с гидравлическими синхронизированными связями на основе шагового гидропривода	29
<i>Иванов В. Е., Фидаров В. Х.</i> Оптимизация процесса алмазного выглаживания поверхности стальных деталей	35
<i>Худяков В. В., Дмитриев В. М., Баронин Г. С., Бузник В. М.</i> Полимерные композиционные материалы на основе политетрафторэтилена и наночастиц кобальта . .	41
<i>Малыгин Е. Н., Фидаров В. Х., Дашков А. В.</i> Изготовление плунжера из серого чугуна марки СЧ-20	44
<i>Малыгин Е. Н., Фидаров В. Х., Дашков А. В.</i> Методы обработки изделий из труднообрабатываемых материалов	47
<i>Малыгин Е. Н., Фидаров В. Х., Дашков А. В.</i> Результаты испытаний режущего инструмента при изготовлении деталей из отбеленного чугуна	51
<i>Фидаров В. Х., Ванин В. А.</i> Анализ производительности и затрат при механической обработке заготовок деталей машин из труднообрабатываемых материалов	55
<i>Худяков В. В., Баронин Г. С., Дмитриев О. С.</i> Твердофазная технология получения блочных изделий на основе фторполимерных нанокompозитов	61
<i>Фидаров В. Х.</i> Повышение производительности и снижение затрат механической обработки заготовок деталей машин из отбеленного чугуна	64
<i>Аль-Саади Д. А. Ю., Першин В. Ф., Салимов Б. Н.</i> Получение графеносодержащих смазок в планетарной мельнице	70
<i>Ведищев С. М., Завражнов А. И., Балахонова Д. Н.</i> Коэффициент бокового распора	76
<i>Зарапина И. В., Осетров А. Ю.</i> Некоторые аспекты процесса твердофазной диффузии водорода через стальную мембрану	80
<i>Шипина О. Т., Трескова В. И.</i> Синтез и свойства искусственных полимеров на основе натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы	84

<i>Ерохин А. П., Дьячков С. В., Бахарев А. А., Пальчиков Е. В., Новичков Р. А.</i> Критерии оценки эффективности процесса разделения фракций в сепараторах молотковых дробилок	89
<i>Дьячкова Т. П., Аносова И. В., Чернопятова Ю. В., Гаврилов И. А.</i> Исследование характеристик поверхности композитов на основе углеродных нанодисперсных носителей, модифицированных полианилином	94
<i>Кондракова Е. Ю.</i> Дериватографическое исследование процесса получения фталоцианинакобальта и его производных	100
<i>Субочева М. Ю., Орехов В. С.</i> Ресурсосбережение при проведении процесса отмывки паст азопигментов методом декантации	105
<i>Афонин В. В., Дьяков И. А.</i> Физико-механические свойства износостойких покрытий для электрических контактов	111
Экология человека, системы обеспечения химической, биологической, медицинской и экологической безопасности человека	113
<i>Плотников М. Ю., Дворецкий С. И., Дорохов Р. В.</i> Кинетика процесса регенерации воздуха с использованием регенеративного продукта РПК-П	113
<i>Алексеев С. Ю., Болтнев Ю. В.</i> Построение интерактивных технических руководств на изолирующие дыхательные аппараты	119
<i>Михина А. В., Горбунов А. В.</i> Биохимические маркеры инфаркта миокарда в современной кардиологии	122
<i>Алексеев С. Ю., Захаров А. Ю.</i> Разработка алгоритмов и системы компьютерного моделирования для исследования процессов, протекающих в изолирующих дыхательных аппаратах с химически связанным кислородом, при их испытании на стенде «Искусственные легкие»	126
<i>Мутумбица Ч. К., Чиквето Ф., Фролов С. В., Коробов А. А.</i> Модель участка сердечно-сосудистой системы в сосредоточенных координатах	128
<i>Павлова О. А., Горбунов А. В.</i> Биохимическая дифференциальная диагностика синуклеинопатий	131
<i>Рылов Ю. Б., Андреев В. П., Пилягина А. О.</i> Регенеративный продукт для изолирующих дыхательных аппаратов	135
<i>Суворова Ю. А., Дорохов Р. В., Козадаев И. С., Кузнецова А. А., Рязанов И. В.</i> Особенности очистки воздуха от диоксида углерода листовым известковым хемосорбентом в замкнутых объектах	140
<i>Холодидлин Н. Ю., Ферантонова Л. Л., Грунский В. Н.</i> О влиянии сорбента-наполнителя на термическую устойчивость полимерной матрицы композиционных сорбционно-активных материалов	145
<i>Пилягина А. О., Матвеев С. В., Рылов Ю. Б., Лаверов В. А., Орлова М. С.</i> Перспективные пути развития средств коллективной защиты от диоксида углерода	151
<i>Сухорукова Т. А., Борщев В. Я., Михайлова Л. Г., Михайлова Е. Г., Огородникова А. Г.</i> К вопросу о промышленной безопасности на ПАО «Пигмент»	155

Экологическая стандартизация, сертификация, метрология, приборы и методы контроля качества окружающей среды и антропогенных воздействий	159
<i>Королев А. П., Макарчук М. В., Бадирова Н. Б.</i> Пористый кремний для сенсоров экологического мониторинга	159
<i>Кузнецов М. А., Григорьев Е. Б., Нестеров П. А.</i> Состояние лабораторных геотермальных исследований и новые подходы к прогнозированию теплофизических свойств осадочных горных пород	163
<i>Белюсова М. А.</i> Загрязнение воздушной среды: теоретические аспекты и фактические показатели для Тамбовской области	168
<i>Сизикин А. Ю.</i> Повышение качества процессов стандартизации	172
<i>Гулкатома М. П. М., Савенков А. П., Сафонова М. Э.</i> Бесконтактный детектор расстояния до поверхности жидкости	176
<i>Балашов А. А.</i> Методика контроля структурного перехода на фоне шумов с помощью одномерной фильтрации	181
<i>Барсуков В. И., Дмитриев О. С., Вязовов В. Б.</i> Атомно-абсорбционная спектроскопия как метод экологического мониторинга	187
<i>Волков А. Ю., Строев В. М.</i> Системы контроля качества воды в речных и озерных водоемах «Нептун»	190
<i>Гулкатома М. П. М., Савенков А. П., Сафонова М. Э., Сычев В. А.</i> Исследование коэффициентов отражения поляризованного излучения полупроводниковых лазеров	193
<i>Дмитриев А. О., Дмитриев О. С.</i> О выборе условий определения кинетических и реологических характеристик полимерных композитов при отверждении	199
<i>Осипова И. А.</i> Исследование поверхностных особенностей мембран методом атомно-силовой микроскопии	203
<i>Пасько А. А., Пасько Т. В., Ягубов В. С., Фролов И. И.</i> Экспериментальное определение теплофизических характеристик материалов	206
<i>Проценко И. Г., Мордасов Д. М.</i> Исследование влияния температурно-временных режимов спекания на структуру металлокерамических постоянных магнитов	210
<i>Дивин А. Г., Мищенко С. В., Родионова А. С., Бирюкова Е. С.</i> Автоматизация рефрактометра типа РПЛ на основе применения технического зрения	216
<i>Хоан Т. А., Селиванова З. М.</i> Интеллектуальная информационно-измерительная система экологического мониторинга строительных материалов	220
<i>Тимонина Е. Г., Спицын Н. А., Гриднева Т. С., Пеняскина И. И., Прилипухов В. В., Коробова А. О., Дивин А. Г.</i> Методы и средства динамического взвешивания	226
<i>Фирсова А. В., Мордасов Д. М.</i> Сканирующая туннельная микроскопия диэлектрических пленок	230
<i>Шелохвостов В. П., Чернышов В. Н., Армянинов И. С.</i> Микропроцессорная система обнаружения наноконпонентов для контроля качества окружающей среды	234

<i>Мищенко С. В., Дивин А. Г., Хитрова Н. П.</i> Разработка стенда для контроля сопротивления теплопередаче оконных блоков	238
<i>Шелохвостов В. П., Михайлова М. В., Макачук М. В., Чернышов В. Н.</i> Анализ влияния электрических полей на энергетические уровни гетероструктур в методах и устройствах экологического мониторинга	242
<i>Голубева Л. В., Долматова О. И., Бочарова Е. И.</i> Анализ ароматов сгущенных молочных и молокосодержащих продуктов	248
<i>Потлов А. Ю., Проскурин С. Г., Фролов С. В.</i> Использование оптической томографии в задачах неразрушающего контроля растений, плодов и семян	254
<i>Жуков Н. П., Майникова Н. Ф., Трофимов Д. В.</i> Измерительная система для идентификации состава жиров пищевых продуктов	260
<i>Медведева А. В., Мордасов Д. М., Мордасов М. М.</i> Аэродинамический метод контроля плотности металлических порошков	266

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ, СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

УДК 621.73.043

ББК 34.623

Володин И. М., Телегин И. В.

Липецкий государственный технический университет
(Россия, г. Липецк)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Volodin I. M., Telegin I. V.

Lipetsk State Technical University
(Russia, Lipetsk)

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF HOT DIE FORGING

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы снижения металлоемкости производства изделий методом горячей объемной штамповки и, тем самым, повышения показателей его экологичности.

Ключевые слова: поковка, горячая штамповка, металлоемкость.

Abstract. The paper deals with the decrease metal consumption in the hot die forging production, thereby improving environmental performance.

Keywords: forging, hotforming, metalconsumption.

Решение вопросов защиты окружающей среды напрямую связано с разработкой новых технологий, обеспечивающих малоотходное производство при минимальных энергетических затратах. Данная работа посвящена созданию и исследованию таких технологий в области горячей объемной штамповки, отличающихся от традиционных более низким потреблением энергии и ресурсов.

До настоящего времени в производстве горячештампованных поковок преобладает традиционная, открытая объемная штамповка с облоем. В этом случае формообразование поковки осуществляется в открытом штампе, снабженном облойной канавкой, с вытеснением определенного количества металла в облой, являющимся технологически необходимым отходом металла. Облойная канавка характеризуется такими основными параметрами как ширина облойного мостика b , радиусы скругления кромки ручья r_1 и r_2 и толщина облоя h (см. рис. 1, *a*). Заполнение ручья штампа и окончательное формообразование поковки сопровождается вытеканием металла в облойную канавку и благодаря подпору со стороны металла, находящегося в деформируемой зоне облойного мостика.

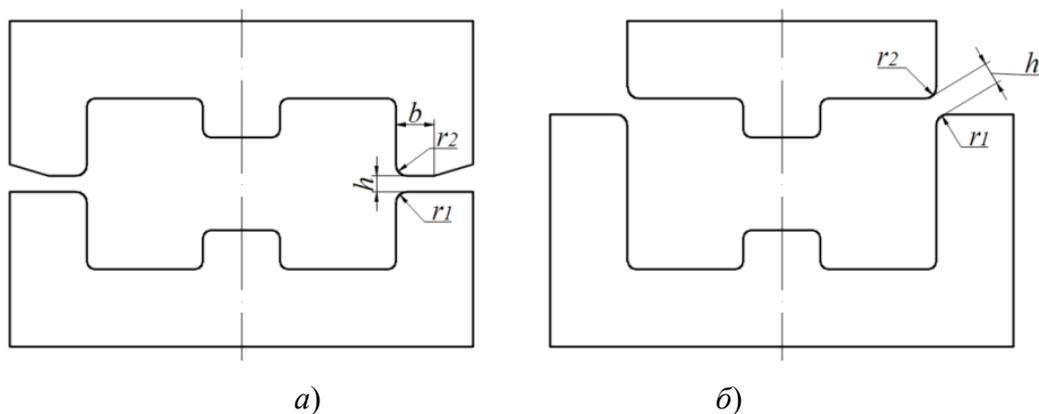


Рис. 1. Схема штампов:

a – классическая штамповка; *б* – бесподпорная штамповка

Сущность бесподпорной штамповки заключается в получении окончательно отштампованной поковки в открытом штампе с вытеснением избытка металла за пределы гравюры штампа без подпора со стороны облоя. В этом случае облойная канавка в классическом виде (с облойным мостиком шириной b и толщиной мостика h) отсутствует (рис. 1, *б*). Заполнение полости штампа осуществляется в основном за счет деформации рационально подготовленного полуфабриката. Одним из условий реализации бесподпорной штамповки является смещение поверхности разъема штампов к элементу поковки, заполняемому металлом в последнюю очередь.

Таким образом, при проектировании технологических переходов не предусматривают излишек металла для заполнения облойной канавки и создания подпора.

Очевидно, что бесподпорная штамповка, являющаяся одним из вариантов ГОШ, отвечает следующим требованиям: традиционного облойного мостика нет, технологически необходимого отхода металла для создания подпора мостиком нет, а формирование качественной поковки осуществляется.

В результате численного моделирования процесса изготовления поковки диска шарнира переднего моста по традиционной и бесподпорной технологиям (схемы окончательных штампов изображены на рис. 1, *а* и 1, *б*), как и ожидалось, установлено снижение усилия деформации. Расчет усилия по методике [1], показал уменьшение усилия в 2,2 раза.

Это согласуется с данными работы [2], где показано, что при деформации поковки с облоем потребное усилие в 1,67 – 2,77 раза больше усилия деформации собственно поковки.

Поэтому в ряде случаев, используя только бесподпорную штамповку, можно перевести изготовление поковок на КГШП с меньшим номинальным усилием [3]. Наряду со снижением общего усилия штамповки уменьшаются максимальные контактные напряжения, которые являются одним из основных факторов, определяющих стойкости штампов.

На рис. 2 приведена фотография поковок, полученных бесподпорной штамповкой [4].

Разрабатываемые на основе рассмотренных правил проектирования технологические процессы штамповки ГОШ кроме экономии металла и повышения качества по-

ковок позволяют перевести штамповку на оборудование меньшей мощности. В ряде случаев размеры штампового пространства прессов являются сдерживающим фактором такого перевода. Изготовителям оборудования следует учесть этот факт. Ранее разработанная гамма КГШП предназначалась для реализации технологий прошлого поколения.



Рис. 2. Фотография поковок полученных бесподпорной штамповкой

Рассмотрим традиционную схему штамповки с малым фланцем (рис. 3). Первый переход – осадка исходной заготовки. Второй – формирование полуфабриката по известному правилу последовательного приближения конфигурации к форме окончательно отштампованной поковки. Третий переход – окончательное формирование поковки с перемычкой в центральной части и штамповочными уклонами до $5 - 7^\circ$.

Новая технологическая схема штамповки [5, 6] содержит четыре перехода: осадка, формоизменение полуфабриката в два перехода и окончательная штамповка.

Осадку выполняют на фигурных вставках с формированием базовой поверхности на нижнем торце. В приведенном ниже примере (рис. 4) осадку осуществляют в шар. Это позволяет сформировать полуфабрикат высокой степени симметрии с универсальной базовой поверхностью (регламентирование боковой поверхности).

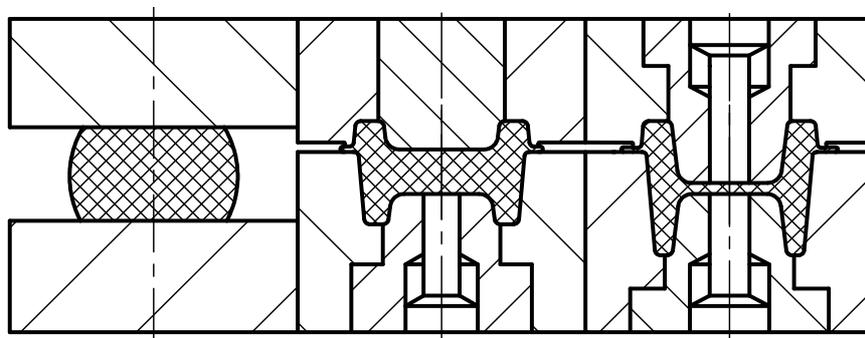


Рис. 3. Традиционная технологическая схема изготовления поковок

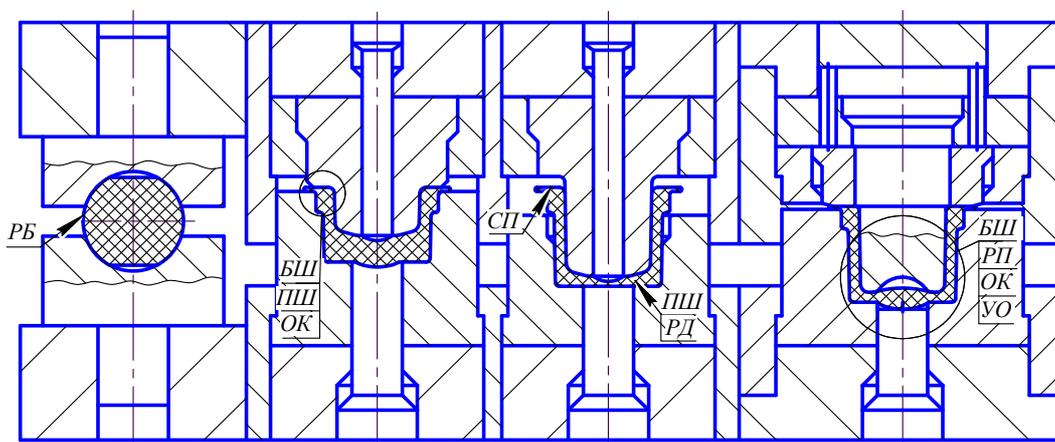


Рис. 4. Новая технологическая схема изготовления поковок

На втором переходе в открытом штампе формируют полуфабрикат с фланцевой и ступичной частями и полостью под прошивку. При этом формируют фланцевую часть поковки (правило поэлементной штамповки) и производят дозирование объема металла, предназначенного для формирования (на следующем переходе) ступичной части полуфабриката. Избыток металла, обусловленный допусками на исходный прокат и неточностью резки, вытесняют в облой (правило отложенной корректировки).

При простой конфигурации поковки можно использовать малоподпорную или бесподпорную штамповку.

Глубину полости назначают с учетом высоты фланцевого утолщения и радиусов закругления пуансона, чтобы обеспечить на следующем переходе равномерное вытеснение металла из матрицы вверх.

Следует стремиться к минимально возможной глубине полости. В этом случае короткий пуансон, обладая высокой жесткостью, формирует полость строго по центру полуфабриката (правило соответствия технологических решений и конструкции инструмента). Это очень важно. Разнотолщинность полуфабриката второго перехода в штампе следующего перехода практически не исправляется и может привести к поломке пуансона.

На третьем переходе обратным выдавливанием формируют ступицу (правило распределения деформаций по переходам). При этом часть поверхности полуфабриката остается свободной от контакта с инструментом (правило свободных поверхностей). Полученный должным образом полуфабрикат второго перехода позволяет в ряде случаев после обратного выдавливания получать практически готовую поковку. Однако вследствие известных недостатков обратного выдавливания чаще всего приходится использовать четвертый переход.

На четвертом переходе проводят окончательную штамповку с возможным вытеснением незначительного избытка металла в облой и перемычку (управление очагом деформации). Наличие двух степеней свободы течения металла в конце штамповки и расположение перемычки и облоя на разных горизонтальных уровнях исключает классическую стадию доштамповки, когда очаг пластической деформации пересекает тело поковки. В результате снижается усилие штамповки и повышается стойкость инструмента.

Пробивка отверстия в окончательно отштампованной поковке и обрезка облоя может производиться последовательно или в штампе совмещенного действия.

На рис. 5 представлены значения норм расхода $G_{нр}$ и твердотельные модели окончательно отштампованных поковок по традиционной (справа) и новой (слева) технологии.

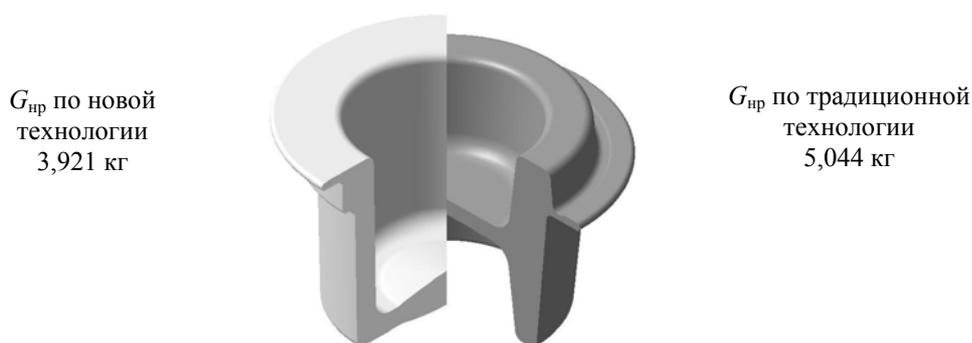


Рис. 5. Твердотельные модели поковок

Список использованных источников

1. Ковка и объемная штамповка : справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка. – 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Е. И. Семенова. – М. : Машиностроение, 2010. – 720 с.
2. Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением / В. Л. Колмогоров. – Екатеринбург : Изд-во Уральского государственного технического университета – УПИ, 2001. – 836 с.
3. Телегин, В. В. Исследование влияния характера изменения технологического усилия штамповки на динамику кривошипного горячештамповочного пресса / В. В. Телегин, А. И. Володин, М. Н. Абдуллах // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2009. – № 2. – С. 78 – 82.
4. Пат. 2275271 РФ. Способ изготовления штампованных поковок / Володин И. М., Ромашов А. А., Мартюгин В. С. [и др.] (РФ). – № 2004125009/02 ; заявл. 16.08.2004 ; опубл. 27.04.06. Бюл. № 12 // Изобретения. Полезные модели. – 2006. – С. 392
5. Пат. 2217262 РФ. Способ изготовления полых фланцевых поковок / Володин И. М., Ромашов А. А., Мартюгин В. С и др. – № 2002110410/02 ; заявлено 22.04.02 ; опубл. 27.11.03. Бюл. № 33 // Изобретения полезные модели. – 2003. – С. 399.
6. Володин, И. М. Моделирование процессов горячей объемной штамповки : монография / И. М. Володин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 253 с.

References

1. Semjonov, E. I. Kovka i objomnaja shtampovka: spravocchnik. V 2. Gorjachaja objomnaja shtampovka. – M. : Mashinostroenie, 2010. – 720 c.
2. Kolmogorov, V. L. Mehanika obrabotki metallov davleniem. – Ekaterinburg : Ural State Technical University, 2001. – 836.
3. Telegin, V. V. Issledovanie vlijanija haraktera izmenenija tehnologicheskogo usilija shtampovki na dinamiku krivoshipnogo gorjacheshtampovochnogo pressa / V. V. Telegin, A. I. Volodin, M. N. Abdullah. – Lipetsk, News of Higher Educational Institutions of the Chernozem Region, 2009. – N 2. – P. 78 – 82.
4. Pat. RF N 2275271. Sposob izgotovlenija shtampovannyh pokovok / Volodin I. M., Romashov A. A., Martjugin V. S. [Forged pieces forming method]. – 2006.
5. Pat. RF N 2217262. Sposob izgotovlenija polyh flancevyh pokovok / Volodin I. M., Romashov A. A., Martjugin V. S. – 2003.
6. Volodin, I. M. Modelirovanie processov gorjachej objomnoj shtampovki : monografija / I. M. Volodin. – M. : Mashinostroenie, 2006. – 253 c.

УДК 66.011: 678.028
ББК Ж35.719

Дмитриев О. С., Живенкова А. А., Дмитриев А. О.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Dmitriev O. S., Zhyvenkova A. A., Dmitriev A. O.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

ANALYSIS OF THE PRODUCTION PROBLEMS OF MANUFACTURING THICK-WALLED POLYMER COMPOSITE PRODUCTS

Аннотация. Представлен анализ технологических и организационных проблем, возникающих при производстве толстостенных изделий из полимерных композитов. Намечены пути повышения качества готовой продукции.

Ключевые слова: полимерные композиты, производство, технология, качество.

Abstract. Analysis of the technological and organizational problems, which appear in the production of thick-walled polymer composite products, is presented. Ways to improve the quality of the finished products are outlined.

Keywords: polymer composites, production, technology, quality.

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) являются одними из перспективных конструкционных материалов, которые сочетают в себе уникальные свойства, отсутствующие у природных материалов. Это предопределило их широкое применение в космической, авиационной, судостроительной, автомобильной, электротехнической, химической и других отраслях современного производства [1].

В промышленности успешно применяются ПКМ на основе термореактивных эпоксидных, фенолформальдегидных, полиаминоимидных связующих, клеев, армированных непрерывными стеклянными, полимерными, углеродными волокнами и тканями, нетканым асбестом и многим другим. Толщина стенки композитных крупногабаритных изделий может быть весьма значительной и достигать 30...40 мм.

В процессе производства ПКМ их физико-химические свойства претерпевают значительные изменения, формируется структура материала и создается форма готового изделия. Таким образом, эти действия являются совмещенными в одной технологической операции, что предопределяет качественные показатели готового изделия и создает определенные трудности в разработке технологии и организации производства.

Основные качественные характеристики полимерных композитов определяются свойствами компонентов (полимерного связующего и армирующего наполнителя), их

объемным соотношением, микро и макроструктурой, границей раздела фаз. Кроме того, для получения максимальных физико-механических свойств необходимо соблюдать заданные оптимальные технологические режимы формования изделий [2, 3]. Указанные факторы не исчерпывают полностью всю глубину проблемы. Поэтому, возникает необходимость провести детальный анализ причин и следствий, связанных с производственным циклом изготовления изделий из полимерных композитов.

Влияние указанных причин на качественные показатели еще более усиливается, если изготавливаются толстостенные изделия. Это объясняется тем, что процесс отверждения изделий из ПКМ на основе термореактивных связующих, как правило, сопровождается экзотермической реакцией. Вследствие низкой теплопроводности полимерных композитов перпендикулярно слоям ориентации армирования отток тепла из внутренних слоев толстостенного изделия затруднен. При использовании неоптимального температурно-временного режима отверждения это вызывает значительную неоднородность температурно-конверсионного поля $T(x, t)$, $\beta(x, t)$, перегрев внутренних слоев материала, деструкцию связующего, накопление внутренних напряжений, приводит к снижению прочностных свойств материала, растрескиванию и короблению готовых изделий. Устранить указанные технологические проблемы и тем самым повысить физико-механические характеристики ПКМ и показатели их качества можно путем отверждения изделий по некоторому оптимальному температурно-временному режиму $U(t)$, рассчитать который можно на основе математической модели [4, 5]. Эта задача особенно важна при изготовлении толстостенных изделий из ПКМ.

Одним из современных способов изучения причин и следствий в производственном процессе получения изделий из ПКМ является причинно-следственная диаграмма Исикавы [6], которая позволяет в простой форме систематизировать все вероятные причины анализируемых проблем, выделить самые значимые и провести поиск первопричины.

По результатам анализа факторов, влияющих на качество толстостенных изделий из ПКМ, была построена причинно-следственная диаграмма Исикавы, представленная на рис. 1.

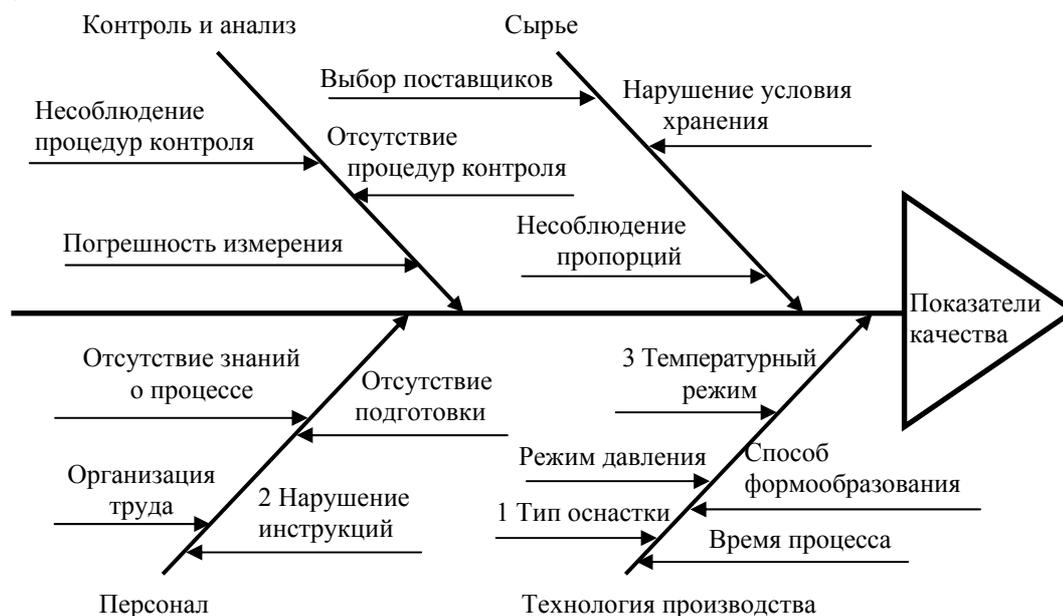


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма анализа показателей качества ПКМ

Основные проявления (следствия) дефектности изделий из полимерных композитов являются следующие:

- прочностные свойства ПКМ ниже требуемой;
- деструкция связующего в ПКМ;
- низкая степень отверждения связующего в ПКМ;
- растрескивание материала;
- коробление (нарушение геометрических размеров) готового изделия;
- расслоение изделия, пустоты;
- места плохой пропитки;
- воздушные пузырьки между слоями.

Поэтому, главная задача, которую необходимо решать при производстве изделий из ПКМ, это организовать технологический процесс так, чтобы не допустить указанных факторов, гарантировать высокие качественные показатели изделий из ПКМ и низкую себестоимость при соблюдении экологических требований к производству [2, 3]. Поэтому для устранения этих проблем необходимо выявить причины, связанные с производственным циклом изготовления изделий из полимерных композитов.

При производстве толстостенных изделий из ПКМ нами были рассмотрены причины, влияющие на качество готовой продукции:

1. Технология производства. Включает в себя следующие важные факторы: температурно-временной режим отверждения (должен быть оптимальным для данной рецептуры, толщины и конфигурации изделия), способ формования (должен соответствовать форме изделия и технологическому оборудованию), режим давления (должен обеспечить необходимый коэффициент наполнения и монолитность изделия), время процесса (должно быть минимальное, но достаточное для полного завершения процесса отверждения), тип оснастки (должен соответствовать способу формования изделия).

2. Сырье. Производитель выбирает для себя тот материал, который ему необходим выполнения технологических, экономических, экологических и других требований к изделиям из ПКМ. Сырье также зависит от способа формования изделий. При «сухом» способе используется препрег и важно, чтобы соблюдались условия (температура и продолжительность) хранения, время укладки в изделие и прочее. Также важны пропорции ингредиентов.

3. Контроль и анализ. Позволяет измерять и контролировать все необходимые параметры процесса, сравнивать их с нормой, осуществлять мониторинг и управление технологическим процессом. Здесь должны соблюдаться все метрологические нормы и мероприятия.

4. Персонал. Непосредственно оказывает влияние на процесс производства изделий из ПКМ. Здесь существенное значение имеют квалификация, опыт, навыки, заинтересованность и мотивация персонала, вовлеченность в процессы управления качеством, а также организация условий труда. Немаловажное значение имеет также обучение передовому опыту коллег по работе.

Итак, на основе анализа выявлены основные причины, а также технологические и организационные проблемы, возникающие при производстве толстостенных изделий из полимерных композитов. Одним из путей повышения качества изделий из ПКМ явля-

ется организация научных исследований для определения оптимальных температурно-временных режимов отверждения толстостенных изделий при вариации свойств сырья и четкое соблюдение этих режимов при производстве ПКМ.

Список использованных источников

1. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / М. Л. Кербер, В. М. Виноградова, Г. С. Головкин и др. ; под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
2. Дмитриев, О. С. Определение оптимальных режимов отверждения толстостенных изделий из полимерных композитов / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, А. О. Дмитриев, А. В. Зуев // Тепловые процессы в технике. – 2013. – № 10. С. 467 – 475.
3. Дмитриев, О. С. Влияние типа наполнителя на оптимальные режимы отверждения толстостенных ПКМ / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, А. В. Зуев, А. А. Черепихина // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – № 11. – С. 27 – 36.
4. Мищенко, С. В. Математическое моделирование процесса отверждения изделия из полимерных композиционных материалов методом горячего прессования / С. В. Мищенко, О. С. Дмитриев, С. В. Пономарев // Вестник ТГТУ. 1998, Т. 4, № 4. – С. 390 – 399.
5. Дмитриев, О. С. Тепломассоперенос и кинетика отверждения полимерного композиционного материала при автоклавном вакуумном формовании изделий / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, С. В. Мищенко, А. О. Дмитриев // Инженерная физика. – 2010. – № 9. – С. 3 – 12.
6. Пономарев, С. В. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко и др. – М. : Стандарты и качество, 2005. – 248 с.

References

1. Polymer composite materials: structure, properties, technology / M. L. Kerber, V. M. Vinogradova, G. S. Golovkin et al. ; Edit. A. A. Berlin. – SPb. : Professiya, 2008. – 560 p.
2. Dmitriev, O. S. Determination of the optimal curing cycles of thick-walled parts made of polymer composites / O. S. Dmitriev, V. N. Kirillov, A. O. Dmitriev, A. V. Zuev // *Teplovyeprocessy v tehnikе*. – 2013. N 10. – P. 467 – 475.
3. Dmitriev, O. S. The effect of filler type on the optimal cure cycles of thick-walled PCM / O. S. Dmitriev, V. N. Kirillov, A. V. Zuev, A. A. Cherepahina // *Klei. Germetiki. Tehnologii*. – 2011. – N 11. – P. 27 – 36.
4. Mishchenko, S. V. Mathematical modeling of curing products made of polymer composite materials by hot pressing / S. V. Mishchenko, O. S. Dmitriev, S. V. Ponomarev // *Vestnik TGTU*. – 1998. – V. 4. – N 4. – P. 390 – 399.
5. Dmitriev, O. S. Heat and mass transfer and kinetics of curing of polymer composite material in a vacuum autoclave molding products / O. S. Dmitriev, V. N. Kirillov, S. V. Mishchenko, A. O. Dmitriev // *Injenernaiafizika*. – 2010. – N 9. – P. 3 – 12.
6. Ponomarev, S. V. Product quality management. Instruments and methods of quality management / S. V. Ponomarev, S. V. Mishchenko, et al. – M. : Standarty i kachestvo, 2005. – 248 p.

Москвитин С. П.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

**МЕТОД СОВМЕСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА***

Moskvitin S. P.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

**METHOD JOINT PLASTIC DEFORMATION OF DIFFERENT METALS
USING ELECTROPLASTIC EFFECT**

Аннотация. Описаны недостатки существующих методов получения композитных слоистых металлических материалов, представлен метод совместной пластической деформации различных металлов при воздействии импульсного тока высокой плотности, описана установка для исследования влияния электропластического эффекта на совместную пластическую деформацию разнородных металлов методом прокатки, представлены результаты теоретических исследований нахождения оптимальных параметров воздействия импульсного тока на заготовки для достижения максимальной прочности сцепления слоев.

Ключевые слова: электропластическая прокатка, слоистые металлы, пластическая деформация.

Abstract. Described drawbacks of existing methods for the preparation of composite laminated metal materials, provides a method for the joint plastic deformation of various metals when exposed to high-density pulsed current, how to set to investigate the influence electroplastic effect on the joint plastic deformation of dissimilar metals by rolling, we present the results of theoretical research of finding the optimal parameters of pulsed current on the workpiece to achieve maximum strength of adhesion layers.

Keywords: electroplastic rolling, layered metals, plastic deformation.

Одним из основных способов промышленного производства слоистых металлов является совместная прокатка в горячем или в холодном состоянии. При совместной пластической деформации приконтактные слои, предварительно механически обработанные и не имеющие запаса пластичности, симметрично разрушаются. В результате чего образуются трещины и взаимное заполнение их металлом, сцепление слоев проис-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00483мол_а.

ходит дискретно, в областях интенсивного пластического течения металлов, где максимальна плотность вышедших на поверхность дислокаций. Увеличение степени деформации ведет к возрастанию числа и величины области сцепления, которые объединяются и охватывают всю площадь контакта металлов. При холодной прокатке качество сцепления определяется степенью пластической деформации приконтактных слоев, которая необходима для разрушения оксидных пленок, получения ювенильных поверхностей с активными центрами и их сближения [1].

Для активирования контактной поверхности атомам металла, связанным с атомами кислорода (оксидная пленка), необходимо сообщить дополнительную энергию, достаточную для разрыва их связей с атомами кислорода. Источником этой энергии могут быть дефекты кристаллической решетки, выходящие на контактные поверхности, а также термические флуктуации (тепловое движение частиц). К активированию контактных поверхностей приводят нагрев, пластическая деформация, предварительная химическая обработка. После совместной холодной пластической деформации в готовом металле возникают внутренние напряжения, для снятия которых применяется энергозатратная операция отжига.

Развитие современной техники и технологий требуют применения все более совершенных материалов. В связи с этим получение слоистых композитных материалов с требуемыми свойствами возможно только при достижении прочного соединения слоев по всей поверхности контакта, сохраняющегося при всех последующих операциях обработки материала, а также во время его эксплуатации.

В данной работе предлагается метод совместной пластической деформации различных металлов с использованием электропластического эффекта, который позволит снизить деформирующее усилие и исключить операцию дальнейшего отжига, а возникающая повышенная пластичность металлов в результате действия импульсного тока позволит получить более качественное сцепление слоев.

Электропластический эффект был обнаружен в 1969 г. при действии одиночными импульсами тока плотностью $\sim 10^5$ А/см² и длительностью $\sim 10^{-4}$ с на деформацию кристаллов цинка растяжением и сжатием [2]. Предполагалось, что эффект состоит в ускорение пластического течения металла, находящийся под механическими напряжениями выше предела текучести, потоком электронов, которые помимо джоулевого эффекта способны оказывать особое специфическое электропластическое действие, включающее в себя как действие «электронного ветра», так и вибрации решетки под влиянием пинч-эффекта [3].

Электропластический эффект снижает деформирующее усилие на металлы под действием импульсного электрического тока большой плотности ($j = 10^5 \dots 10^6$ А/см²). Электрический ток при протекании через участок деформации создает в нем дополнительные эффективные напряжения, которые могут достигать $10^3 \dots 10^4$ Па и зависят от величины действующего тока.

Максимальное значение электропластического эффекта, выраженное в пиковых скачках снижения деформирующего усилия при каждом импульсе действующего тока может быть найдена как разность между дислокационным упрочнением и мгновен-

ным разупрочнением, с начального момента времени $t = 0$ и следующих с определенной частотой f

$$\partial\sigma_{ik}^{\text{int}} = K_{iklm} \frac{\partial u_{lm}^{Np}}{\partial t} - \beta_{ik} \sum_{n=1}^N \delta \left(1 - \frac{k}{f} \right) \Delta\sigma^{\text{int}} \left(\frac{k}{f} \right), \quad (1)$$

где $K_{iklm} \frac{\partial u_{lm}^{Np}}{\partial t}$ – величина дислокационного упрочнения; $\Delta\sigma^{\text{int}}$ – прирост внутренних напряжений за период действия импульсов; k – коэффициент, учитывающий количество импульсов, приходящихся на участок деформации; f – частота следования импульсов; β_{ik} – коэффициент дислокационного разупрочнения.

Данное выражение представляет собой уравнение электропластичности металла, которое позволяет объяснить зависимость электропластического действия от частоты f и скважности импульсов [4]. Меняя длительность и скважность импульсов электрического тока, воздействующего на металл, можно, получить высокую пластичность обрабатываемого в результате активизации широкого спектра дислокационных, фазовых и других физических процессов.

Для исследования влияния электропластического эффекта при совместной пластической деформации разнородных металлов предполагается использование установки, приведенной на рис. 1.

Данная установка представляет собой небольшую прокатную клетку 3, с возможностью подведения электрического тока большой плотности непосредственно в зону пластической деформации. Это обеспечивается за счет изолированных друг от друга прокатных валков 7, по которым собственно и подается ток через контакты 6. Во время пластической деформации ведется контроль величины упругой деформации с помощью устройства 4. Применение небольших значений напряжения (порядка 5...24 В) не требует дополнительной изоляции всего стана. Частота импульсов электрического тока находится из выражения

$$f = k \frac{v}{\Delta l}, \quad (2)$$

где v – скорость движения заготовок, м/с; Δl – протяженность участка пластической деформации, м.

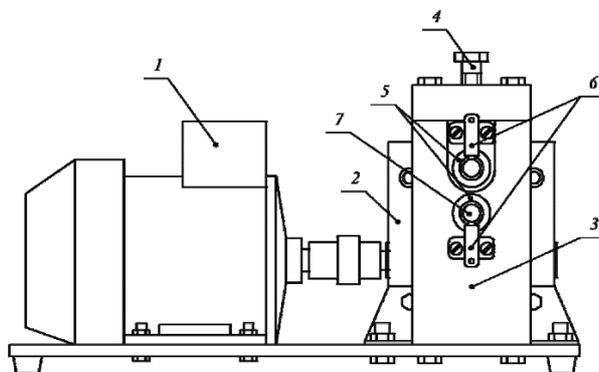


Рис. 1. Установка для исследования электропластического эффекта:

1 – двигатель; 2 – редуктор; 3 – прокатная клетка; 4 – поджимные болты;
5 – изоляционные втулки; 6 – контакты; 7 – прокатные валки

Скважность получаем из соотношения

$$Q = \frac{1}{f\tau_u}, \quad (3)$$

Исследования влияния электропластического эффекта на совместную пластическую деформацию металлов с использованием приведенной на рис. 1 установке позволит получить оптимальные значения плотности тока и частоты следования импульсов для различных сочетаний металлов. Предварительные теоретические расчеты при скорости прокатки 0,1...0,5 м/с показали, что количество импульсов на участок деформации, необходимое для полной проработки составляет 2...7; частота следования импульсов при данной скорости необходима 0,2...3,5 кГц; плотность тока $10^5 \dots 10^6$ А/см²; время и период действия импульсов, соответственно, $1,4 \cdot 10^{-4}$ с и $2,8 \cdot 10^{-4}$ с.

Воздействие импульсного тока большой плотности при совместной пластической деформации металлов позволит повысить прочность сцепления слоев при меньшей степени их деформации и исключить последующие энергозатратные операции для снятия внутреннего напряжения в металле.

Список использованных источников

1. Все о металлургии [Сайт] Особенности образования соединения и пластической деформации металлов при совместной прокатке. (2015). URL : <http://metal-archive.ru/teoriya-obrabotki/180-osobennosti-obrazovaniya-soedineniya-i-plasticheskoy-deformacii-metallov-pri-sovmestnoy-prokatke.html> (дата обращения: 20.05.2016 г.).
2. Спицын, В. И. Электропластическая деформация металлов / В. И. Спицын, О. А. Троицкий. – М. : Наука, 1985. – 160 с.
3. Троицкий, О. А. Электромеханический эффект в металлах / О. А. Троицкий // Письма в ЖЭТФ. – 1969. – Т. 10. – С. 18 – 22.
4. Баранов, Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов, О. А. Троицкий, Ю. С. Аврамов, А. Д. Шляпин. – М. : МГИУ, 2001. – 844 с.

References

1. All of the steel industry [Website] Features of formation of the compound and the plastic deformation of metals at the joint rolling. (2015). URL: <http://metal-archive.ru/teoriya-obrabotki/180-osobennosti-obrazovaniya-soedineniya-i-plasticheskoy-deformacii-metallov-pri-sovmestnoy-prokatke.html> (date of the application: 20.05.2016 г.).
2. Spitsin, V. I. Electroplastic deformation of metals / V. I. Spitsin, O. A. Troitsky. – M. : Nauka, 1985. – 160 p.
3. Troitsky, O. A. Electromechanical effects in metals / O. A. Troitsky // JETP Letters. – 1969. – V. 10. – P. 18 – 22.
4. Baranov, Yu. V. Physical fundamentals of electro and electroplastic treatments and new materials / Yu. V. Baranov, O. A. Troitsky, Yu. S. Avramov, A. D. Shlyapin. – M. : MGIU, 2001. – 844 p.

Алтунин К. А., Соколов М. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Altunin K. A., Sokolov M. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

ALGORITHM FOR DETERMINING THE ERROR OF TURNING USING SOLID MODELING PROGRAMS

Аннотация. Рассматривается методика определения погрешностей токарной обработки, связанных с жесткостью технологической системы. Создан алгоритм определения погрешности токарной обработки с применением программ твердотельного моделирования.

Ключевые слова: погрешность обработки, анализ напряженно-деформированного состояния.

Abstract. This paper examines the methods of determining the errors of turning of related to the rigidity of technological system. An algorithm for determining the error of turning using solid modeling programs is created.

Keywords: machining error, analysis of stress-strain state.

Влияние жесткости технологической системы на качество обрабатываемой детали довольно велико. С увеличением жесткости элементов технологической системы повышается точность и производительность обработки деталей в машиностроительном производстве. Колебания жесткости элементов технологической системы приводит к появлению погрешностей (формы, размеров) на обрабатываемых деталях. Отсюда возникает необходимость в создании программы, определяющей влияние жесткости системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД) на точность размеров и формы обрабатываемой заготовки, а, следовательно, на качество машиностроительных изделий.

Технологическая система состоит из станка, приспособления, инструмента и заготовки. При настройке станка резец устанавливают в положение, в котором должна осуществляться обточка заготовки на некоторый радиус $r_{\text{теор}}$ (рис. 1, а). Однако в результате упругого отжатия узлов станка $u_{\text{ст}}$ и отжатия заготовки $u_{\text{заг}}$ ось вращения заготовки смещается из положения O_1 в положение O_3 , что приводит к увеличению фактического расстояния вершины резца до оси вращения заготовки [2]. Одновременно в связи с прогибом и отжатием резца (рис. 1, б) расстояние его вершины до центра

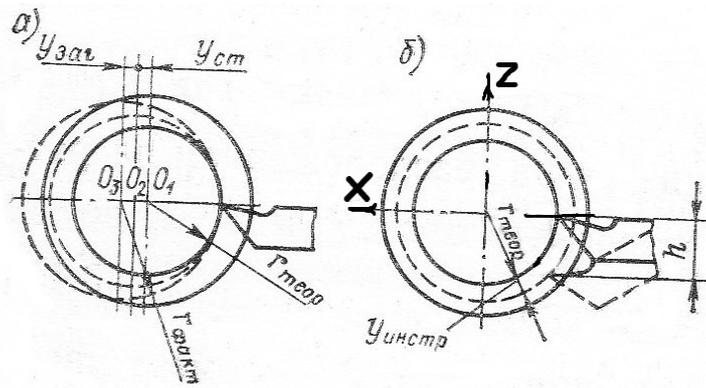


Рис. 1. Влияние упругих отжати на размер обрабатываемой заготовки

вращения заготовки дополнительно увеличивается на величину $y_{инстр}$. Упругие отжати в технологической системе приводят к увеличению фактического радиуса обточки заготовки ($r_{факт} = r_{теор} + y_{ст} + y_{заг} + y_{инстр}$) соответствующем уменьшении фактической глубины резания до величины $t_{факт} = t_{теор} - (y_{ст} + y_{заг} + y_{инстр})$.

Общее увеличение диаметра ΔD обрабатываемого изделия по сравнению с его теоретическим значением, установленным при настройке станка, равно удвоенному приращению фактического радиуса или удвоенному суммарному отжатию технологически системы, т.е.

$$\Delta D = 2(r_{факт} - r_{теор}) = 2(y_{ст} + y_{заг} + y_{инстр}) = 2y = 2P_y / j. \quad (1)$$

Отжати узлов стенка $y_{ст}$ можно вычислить используя формулу определения жесткости предложенную А. П. Соколовским:

$$j = P_y / y. \quad (2)$$

Отсюда зная жесткость станка можно определить упругое отжати его узлов при резании $y_{ст}$:

$$y_{ст} = P_y / j_{ст}, \quad (3)$$

где $j_{ст}$ – жесткость станка, Н/мм.

Отжати $y_{заг}$, зависящее от метода установки заготовок на станке, можно подсчитать по обычным формулам сопротивления материалов. Так, при обтачивании гладкого вала в центрах можно определять величину его прогиба как прогиба балки, свободно лежащей на двух опорах. Наибольший прогиб вала по его середине

$$y_{заг} = P_y l^3 / (48 EJ), \quad (4)$$

где l – длина заготовки; E – модуль упругости; J – момент инерции сечения заготовки (для круглого вала $J = 0,05D^4$).

Из рисунка 1, б, используя теорему Пифагора можно вычислить отжати резца $y_{инстр}$ по формуле:

$$y_{инстр} = \sqrt{((d/2) + x)^2 + h^2} - d/2, \quad (5)$$

где d – диаметр детали; x – смещение резца по оси X ; h – смещение резца по оси Z .

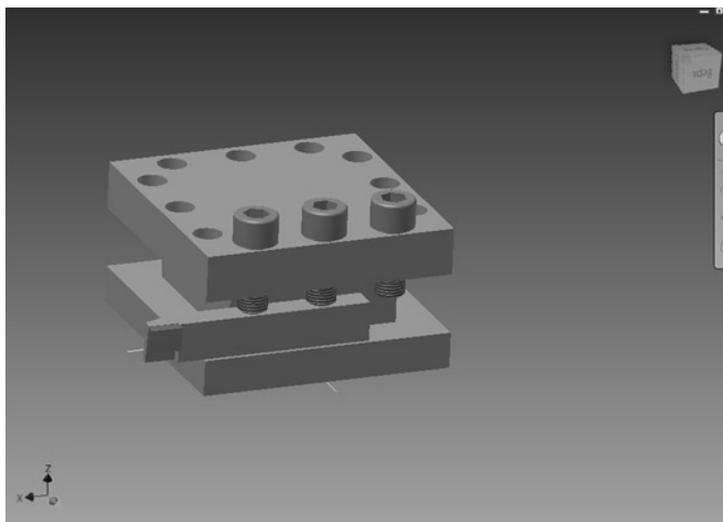


Рис. 2. Твёрдотельная модель резца и резцовой головки

Определить смещение вершины резца по осям можно с помощью анализа его напряженно-деформированного состояния в программах твердотельного моделирования. Для моделирования применялся инженерный пакет AutodeskInventor 2011. Сначала была создана твердотельная модель резца. С целью приближения моделирования к реальным условиям обработки была построена трехмерная модель четырехпозиционной резцовой головки. Также был создан файл сборки (рис. 2), в котором имитируется закрепление резца в резцовой головке. Для этой сборки и был произведен анализ напряжений.

Для моделирования нагрузок на резец была приложена нагрузка на переднюю и заднюю поверхности инструмента нормальными силами, которые были предварительно рассчитаны. Так же на конструкцию были наложены зависимости фиксации, имитирующие закрепление резца на станке.

При расчете в среде AutodeskInventorProfessional в качестве выходных параметров получаем напряжение по Мизесу, 1-е основное напряжение, коэффициент запаса прочности и разложение смещений по осям X и Z (рис. 3, 4).

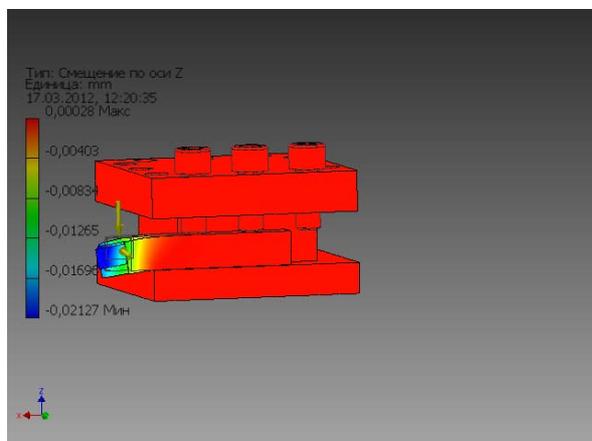


Рис. 3. Смещение по оси Z

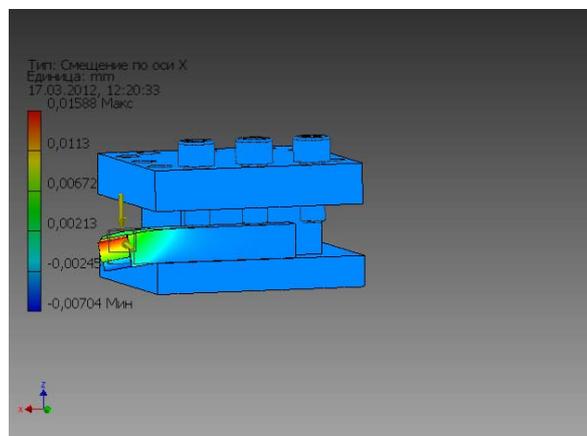


Рис. 4. Смещение по оси X

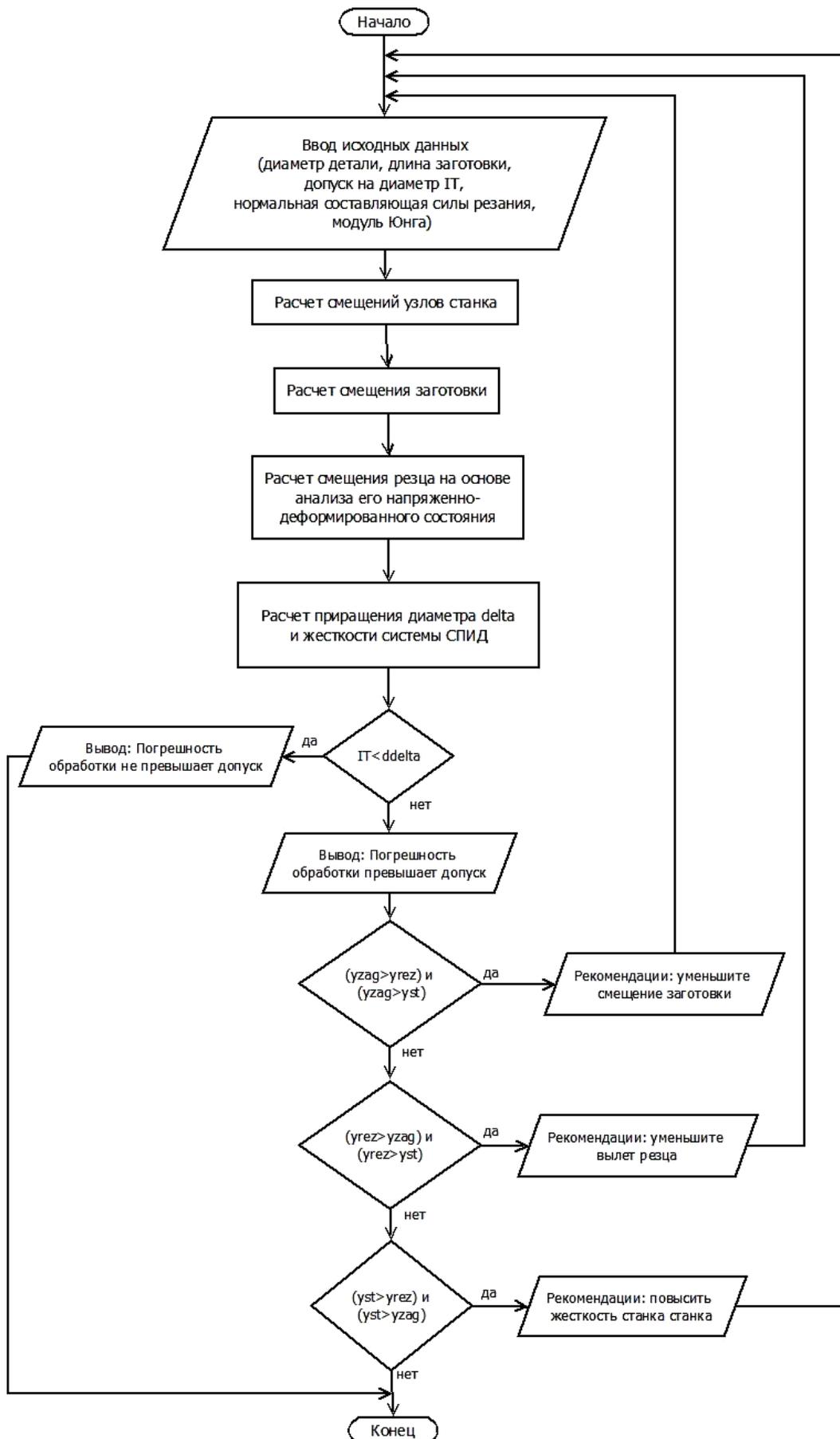


Рис. 5. Алгоритм определения погрешности токарной обработки

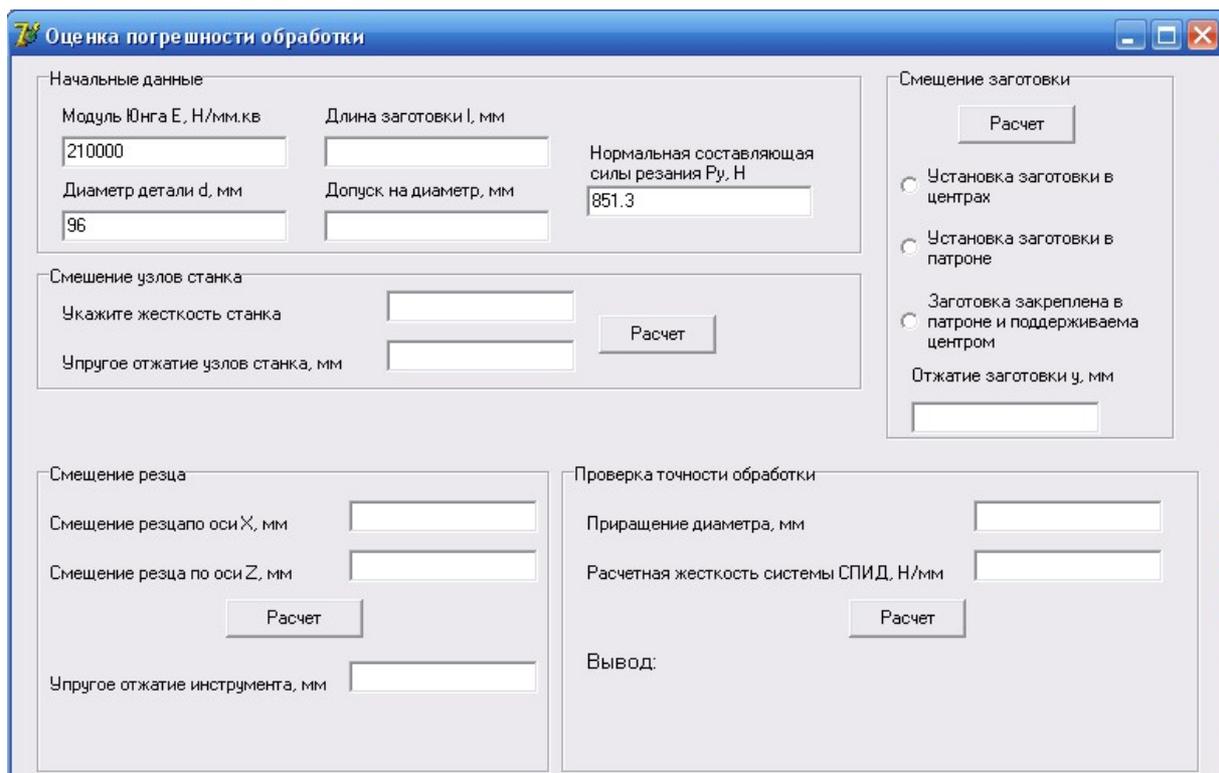


Рис. 6. Приложение для анализа результатов моделирования нагрузок, действующих на режущий инструмент

Используя описанные формулы и данные моделирования нагрузок на режущий инструмент можно вычислить жесткость системы СПИД и определить ее влияние на точность размеров и формы обрабатываемой заготовки. Была составлена блок-схема алгоритма оценки погрешности обработки (рис. 5). Данная схема показывает этапы расчетов, осуществляемых приложением.

Форма приложения реализующего разработанный алгоритм показана на рис. 6.

Разработано приложение, которое рассчитывает упругое отжатие узлов станка и упругое отжатие заготовки по формулам, описанным выше, упругое отжатие инструмента на основе анализа его напряженно-деформированного состояния, определяет общее увеличение диаметра ΔD и сравнивает его с допуском на обрабатываемый диаметр. В случае, когда приращение диаметра больше допуска приложение дает рекомендации по увеличению жесткости системы СПИД.

Разработанный алгоритм может быть использован для моделирования и исследования процессов резания, как это показано в работах [2, 3].

Список использованных источников

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

2. Алтунин, К. А. Блочно-модульная интеллектуальная САПР процессов механической обработки материалов / К. А. Алтунин, Е. В. Шашкова // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития : сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – Вып. IV. – С. 38 – 41.

3. Алтунин, К. А. Концепция создания информационного обеспечения интеллектуальной системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2015. – 112 с.

References

1. Matalin, A. A. Manufacturing Engineering: A textbook for engineering universities in the specialty “Technology of mechanical engineering, machine tools and instruments”. – L. : Engineering, 1985. – 496 p.

2. Altunin, K. A. Block-modular intelligent CAD-system for mechanical processing of materials / K. A. Altunin, E. V. Shashkova // Problems of technogenic safety and sustainable development : collection of scientific articles of young scientists, post-graduate students and students. – Tambov : Publishing House of TSTU, 2013. – V. IV. – P. 38 – 41.

3. Altunin, K. A. The concept of creating information providing for intelligent computer-aided design of cutting processes in manufacturing engineering : monograph / K. A. Altunin, M. V. Sokolov. – Tambov : Print Studio Paul Zolotov, 2015. – 112 p.

УДК 62-1/-9
ББКМ34.42

Малыгин Е. Н., Фидаров В. Х., Дашков А. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Malygin E. N., Fidarov V. H., Dashkov A. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

THE CHOICE OF THE TOOL MATERIAL FOR HARD GOODS

Аннотация. Приводятся обоснования выбора режущего инструмента при изготовлении детали из труднообрабатываемого материала.

Ключевые слова: труднообрабатываемые материалы; токарная обработка; режущий инструмент.

Abstract. A study to select the cutting instrument when manufacturing parts from hard material.

Keywords: hard materials; turning; cutting tools.

Выбор конструкции режущего инструмента, марки инструментального материала для его режущей части при обработке конкретной заготовки детали и условий эксплуатации определяется в основном периодом стойкости режущей части инструмента.

Период стойкости инструмента определяется продолжительностью времени работы инструмента до отказа, т.е. до тех пор, когда становится невозможным осуществлять резание без потери качества обработки.

Причинами отказа могут быть: поломка или скол режущей части инструмента, возникновение недопустимых вибраций, значительное увеличение силы резания и шероховатости обрабатываемой поверхности, достижение предельно допустимого износа режущей части инструмента.

Различают период стойкости и суммарную стойкость инструмента. Если отказ связан с достижением предельно допустимого износа, то режущую способность инструмента можно восстановить посредством его заточки. Тогда период стойкости будет определяться временем работы инструмента до очередной заточки. Суммарная же стойкость инструмента определяется продолжительностью его работы до предельного состояния – поломка или невозможность восстановить режущую способность инструмента путем заточки.

Стойкость режущего инструмента определяется в основном маркой материала его режущей части, свойствами материала обрабатываемой заготовки, режимами резания, состоянием и жесткостью станка.

Основными факторами, влияющими на потерю режущих свойств инструмента являются: вибрации и ударные нагрузки; высокий нагрев, обусловленный выделяемым при резании теплом; процессы адгезии, диффузии и абразивно-механического истирания режущей части инструмента, сопровождающие процесс резания.

Способность инструмента сопротивляться указанным явлениям, т.е. его стойкость измеряется продолжительностью времени, в течение которого сохраняются режущие свойства инструмента.

Исходя из вышесказанного можно сформулировать основные требования, которые должны предъявляться к режущей части инструмента: красностойкость – способность сохранять режущие свойства при высоких температурах; теплопроводность – способность отводить тепло, выделяемое при резании; износостойкость; твердость; изгибная прочность; вязкость – для противостояния преждевременному выкрашиванию.

Сравнительные данные о физико-механических свойствах различных инструментальных материалов, применяемых в настоящее время приведены ниже в таблице.

Из таблицы следует, что твердые сплавы более теплостойки, чем быстрорежущие стали, а минералокерамика превосходит твердые сплавы по твердости и теплостойкости, но значительно уступает им в отношении теплопроводности и прочности. Минимальное температурное удлинение и наибольшая твердость и теплопроводность алмаза, а также эльбора (КНБ) делают их лучшими инструментальными материалами для тонкого и точного точения. Однако хрупкость и малая прочность, адгезионная склонность алмаза к сплавам на основе железа ограничивают применение его в качестве лезвийного инструмента, поэтому алмазы используют лишь для обработки цветных металлов, пластмасс и других малопрочных материалов. Алмазы и эльбор (боразон) – превосходны для абразивного инструмента.

Весьма важной характеристикой хрупких по природе инструментальных материалов является сопротивление тепловому удару. Свойства материалов режущего инструмента приведены в табл. 1.

Согласно данным табл. 1, можно утверждать, что сопротивление удару минералокерамического инструмента в несколько раз меньше, чем твердосплавного, и в десятки раз меньше по сравнению с резцами, изготовленными из сталей P9, P18.

На основе анализа табл. 1 можно сделать следующие выводы:

- инструментальные материалы – минералокерамика, алмазы, эльбор рационально применять для чистовой обработки изделий из высокопрочных материалов;
- инструментальные материалы из твердых сплавов рационально использовать для чернового и получистового резания заготовок деталей из различных материалов;
- инструментальные материалы из сталей P9 и P18, обладающие высокой вязкостью, рационально применять для изготовления режущих инструментов, работающих в условиях ударной нагрузки – резцов, фрез, разверток, метчиков, плашек, сверл. Однако эти материалы обладают невысокой красностойкостью и не обеспечивают высоких скоростей резания

1. Физико-механические свойства инструментальных материалов

Свойства инструментальных материалов	Инструментальные материалы					
	Быстрорежущие стали	Твердые сплавы	Минералокерамика	Керметы	КНБ (эльбор)	Алмазы
Удельный вес, г/см ³ (плотность), кг/м ³	8...8,8·10 ³ (8,5...8,8)	8,0...15,0·10 ³ (8,5...15)	3,6...4,0·10 ³ (3,6...4)	4,4...4,7·10 ³ (4,4...4,7)	~3,5 3,5·10 ³	~3,5 3,5·10 ³
Твердость по Роквеллу <i>HRA</i> Микротвердость по Виккерсу, кгс/мм ²	<i>HRC</i> ¹ 65...70	<i>HRA</i> 88...90 (1,3...1,4)·10 ³	91...94 2,3·10 ³	90...92	(8,5...10)·10 ³	10 ⁴
Предел прочности на изгиб при 20 °С, кгс/мм ²	200...600	75...260	25...60	30...60	–30	–30
Предел прочности на сжатие, кгс·м/мм ²	250...400	350...590	130...300	260...280	–	200...600
Ударная вязкость, кгс·м/см ²	1...6	0,25...0,6	0,05...0,12	–	–	–
Красностойкость, °С	600...700	800...1000	1200	—	1400...1500	700...800
Теплопроводность, ккал/м·с·°С	0,004...0,006	0,004...0,021	0,001...0,005	0,006...0,020	–	0,033...0,038
Температурное удлинение 10 ⁻⁶ , °С	9...12	3...7,5	6,3...9,0	7,2...7,5	–	0,9...1,9

¹ В остальных случаях везде *HRA*.

Окончательное решение по выбору режущего инструмента при обработке заготовки детали из конкретного материала принимается с учетом перечисленных выше свойств инструментального материала, требований к качеству обрабатываемой поверхности и экономических соображений – себестоимости обработки с учетом стоимости режущего инструмента.

УДК 621.914.7:621.833

ББК 34.7

Ванин В. А.

Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

**КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ
С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СИНХРОНИЗИРОВАННЫМИ СВЯЗЯМИ
НА ОСНОВЕ ШАГОВОГО ГИДРОПРИВОДА**

Vanin V. A.

Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

**KINEMATIC STRUCTURE OF MACHINE TOOL SYNCHRONIZED
WITH HYDRAULIC BINDERS BASED ON STEPS HYDRAULIC**

Аннотация. В статье рассматривается построение рациональной конструкции внутренних кинематических цепей металлорежущих станков с гидравлическими синхронизированными связями на основе шагового гидропривода, что приводит к оптимальной металлоемкости и функциональной точности. Данное решение дает большой технико-экономический эффект для производства вследствие экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов.

Ключевые слова: агрегатно-модульный принцип, гидравлический шаговый двигатель, генератор гидравлических импульсов, внутренние (формообразующие) цепи.

Abstract. The article deals with the construction of a rational design of internal kinematics of machine tools synchronized with the hydraulic connections on the basis of step hydraulic drive, which leads to an optimum of metal and functional accuracy. This solution provides a large technical and economic benefits for the economy as a result of the production of material, energy and labor.

Keywords: aggregate-modular principle, hydraulic stepper motor, hydraulic pulse generator, inside (shaping) circuit.

Построение рациональной конструкции внутренних кинематических цепей, оптимальной по металлоемкости, функциональной точности и другим показателем является сложной задачей, решение которой может дать большой технико-экономический эффект для производства вследствие экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов.

Использование механических связей во внутренних кинематических цепях металлорежущих станков не удовлетворяет возрастающим требованиям повышения точности, жесткости, снижения металлоемкости, построению их в станках различного технологического назначения и разного типоразмера по агрегатно-модульному принципу,

при внедрении которого при проектировании и построении внутренних цепей станков обеспечиваются:

- унификация, как элементов привода, так и приводов в целом, как станков одного назначения по отдельным координатам, так и станков различного функционального назначения;

- максимальное исключение до возможного минимума из кинематических цепей всех промежуточных зубчатых передач, в цепи обязательными являются лишь наличие конечных прецизионных механических звеньев в виде червячных передач (для зубообрабатывающих станков различного технологического назначения) и винтовых передач (для резьбообрабатывающих станков). На эти звенья назначается максимальная редукция с целью уменьшения влияния, на точность конечного звена кинематической цепи, т.е. заготовки [1].

Внутренние кинематические цепи металлорежущих станков, выполненные в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода возможно построить используя агрегатно-модульный принцип [2 – 8] благодаря тому, что все составленные агрегаты шагового гидропривода – источник рабочей жидкости (насосная установка), исполнительный силовой орган (шаговый гидравлический двигатель с механической редукцией шага), управляющее устройство (генератор гидравлических импульсов) выполнены в виде конструктивно и функционально завершенных блоков (модулей), которые имеют типовые присоединительные размеры и стыковочные устройства. Этим обеспечивается соединение с конечными звеньями кинематических цепей и могут выполнять заданные функции либо самостоятельно, либо совместно с другими блоками в зависимости от сложности и назначения кинематической цепи, точности кинематических цепей, количества формообразующих движений, что позволяет выполнить кинематическую связь для станков различных типоразмеров и различного технического назначения.

Реализация блочно-модульного принципа построения внутренних цепей станков на основе шагового гидропривода дает возможность не конструировать внутренние кинематические цепи станков различного назначения и разных типоразмеров станков одного назначения каждый раз заново, а компоновать их функционально и конструктивно завершенными блоками (модулями), взятыми в таком сочетании, что обеспечиваются необходимые формообразующие движения, рациональная компоновка цепей и станка.

Шаговый гидропривод состоит из автономных функционально и конструктивно завершенных блоков (модулей), которые имеют типовые присоединительные размеры и стыковочные устройства, обеспечивающие возможность соединения с конечными звеньями кинематических цепей – делительными червячными парами или винтовыми передачами. При этом модули, входящие в состав гидравлической связи могут выполнять заданные функции либо самостоятельно, либо совместно с другими подобными модулями в зависимости от назначения и сложности кинематической цепи, количества формообразующих движений, точность кинематической цепи. Благодаря этому различные по технологическим возможностям и характеристикам внутренние кинематические цепи станков различных типов выполняются на основе ограниченной номенклатуры функционально и конструктивно завершенных модулей с использованием ограниченного числа деталей индивидуального проектирования и изготовления.

Ниже рассмотрены структурные схемы станков различного технологического назначения, формообразующие кинематические цепи которых построены по модульному принципу с использованием гидравлических связей на основе гидравлического привода с различными схемами коммутации потоков рабочей жидкости.

На рис. 1 представлена структурная схема резьбонарезного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания цилиндрических червяков обкатным резцом (долбяком) [9].

Станок включает в себя заготовку 6, совершающую вращательное движение от электродвигателя D через звено настройки i_v , связанные с вращением режущего инструмента (обратного резца) 7 с гидравлической цепью обката.

Суппорт с инструментом участвуют в сложном движении формообразования (совместным вращением долбяка и его продольным перемещением, в результате которого центроида долбяка перекатывается без скольжения по прямолинейной центроиде заготовки червяка). Поскольку суппорт является общим звеном, то в цепи необходимо осуществить дифференциальное движение, которое выполняется суммирующим механизмом в виде дифференциала с коническими колесами.

Резьбонарезной станок для нарезания цилиндрических червяков обкатным резцом включает в себя кинематическую цепь вращения заготовки, кинематическую цепь обкатного резца, связывающую между собой вращение заготовки и вращение инструмента, кинематическую цепь продольного перемещения инструмента, связывающую между собой вращение заготовки и продольное перемещение обкатного резца, цепь дифференциала, связывающая между собой вращение резца и его продольные перемещения на величину хода винтовой линии нарезаемого червяка.

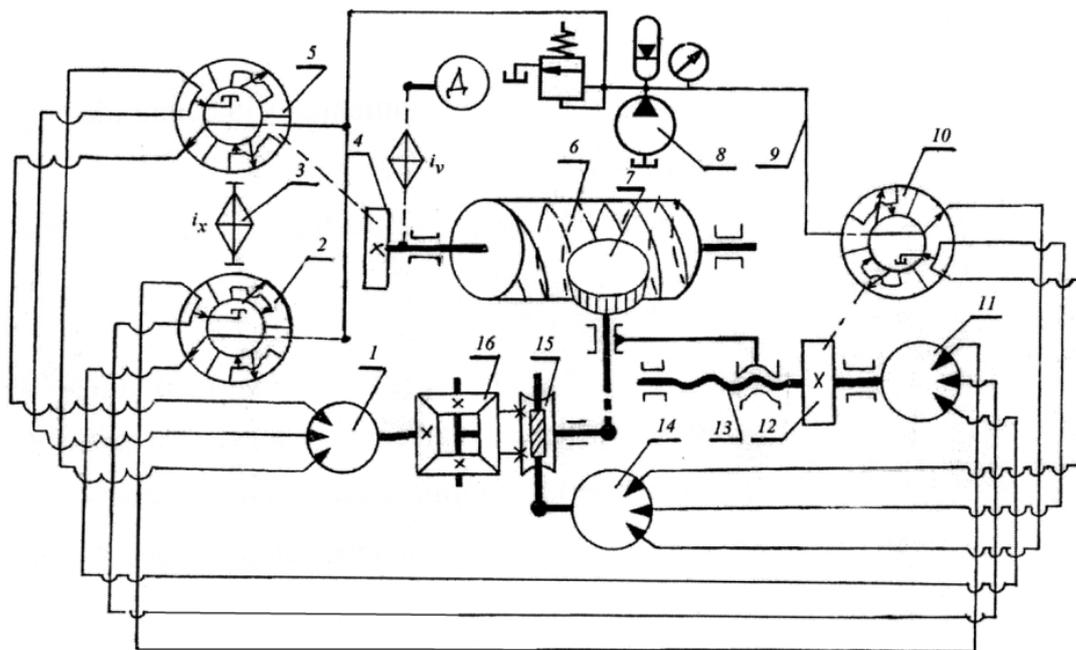


Рис. 1. Структурная схема резьбонарезного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания цилиндрических червяков обкатным резцом (долбяком)

Вращение инструментом 7 осуществляется от шагового гидродвигателя 1, кинематически связанного с продольным суппортом и управляемого генератором гидравлических импульсов 5, золотниковая втулка которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 4, закрепленного на шпинделе заготовки.

Продольное перемещение суппорта с инструментом 7 осуществляется шаговым гидродвигателем 11, кинематически связанным посредством ходового винта 13 продольной подачи с суппортом и управляемого генератором гидравлических импульсов 2, золотниковая втулка которого получаем вращение от генератора гидравлических импульсов 5, управляемого шаговым гидродвигателем вращения инструмента через не силовую гитару сменных зубчатых колес 3.

Так как суппорт с инструментом участвует в сложном движении формообразования – совместном вращении обкатного резца и его продольном перемещении, в результате которого обеспечивается перекачивание центроиды долбяка без скольжения по прямой линейной центроиде заготовки, а суппорт является общим исполнительным звеном, то в цепи необходимо осуществить инструменту дифференциальное движение.

Дифференциальное движение осуществляется шаговым гидродвигателем 14, кинематически связанным посредством червячной передачи 15 с суммирующим механизмом 16 в виде дифференциала с коническими колесами, и управляемого генератором гидравлических импульсов 10, золотниковая втулка которого получает вращение от приводного зубчатого колеса 12, закрепленного на ходовом винте 13 продольной подачи суппорта. Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подводится от насосной установки 8 по трубопроводу 9.

Реализация агрегатно-модульного принципа проектирования и построения внутренних кинематических цепей металлорежущих станков достигается благодаря тому, что гидравлические связи на основе шагового гидропривода выполняются в виде функционально и конструктивно завершенных агрегатов (модулей), имеющих унифицированные установочные и присоединительные элементы [10, 11].

Список использованных источников

1. Ванин, В. А. Кинематическая структура металлорежущих станков с гидравлическими формообразующими связями / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // СТИН. – 2014. – № 5. – С. 2 – 8.
2. Vanin, V. A. Kinematic structure of metal-cutting machines with hydraulic couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – N 34(12). – P. 763 – 768.
3. Vanin, V. A. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2010. – N 30(12). – P. 1248 – 1251.
4. Vanin, V. A. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2011. – N 31(1). – P. 56 – 58.

5. Колодин, А. Н. Затыловочные станки с гидравлическими формообразующими связями : монография / А. Н. Колодин, В. А. Ванин, А. А. Родина. – Deutschland : «LAP Lambert Academic Publishing», 2015. – 169 с.

6. Колодин, А. Н. Оптимальное построение структуры внутренних цепей металлорежущих станков на основе ГШД / А. Н. Колодин, А. А. Родина, Э. О. Наумов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. д-р техн. наук, проф. В. А. Немтинова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.

7. Колодин, А. Н. Зубострогальный станок с гидравлическими формообразующими связями / А. Н. Колодин, А. А. Родина // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития : сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – Вып. VII. – С. 71 – 74.

8. Колодин, А. Н. Применение ГШД в формообразующих цепях токарно-затыловочного станка / А. Н. Колодин, А. А. Родина // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития: сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – Вып. VII. – С. 79 – 83.

9. Колодин, А. Н. Нарезание зубчатых реек на зубодолбежном станке с применением гидравлических формообразующих связей / А. А. Родина, А. Н. Колодин, А. В. Солдатов, Д. А. Харин, Э. О. Наумов // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития : сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – Вып. VII. – С. 75 – 78.

10. Родина, А. А. Кинематическая структура металлорежущих станков со сложными движениями формообразования на основе шагового гидропривода / А. А. Родина, И. В. Облицов, А. С. Поляков // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития [Электронный ресурс] : сб. науч. тр. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – Вып. VI. – С. 85 – 89.

11. Родина, А. А. Синтез и оптимизация кинематической структуры станков со сложными движениями формообразования на основе гидравлических связей / А. А. Родина, И. В. Облицов, А. С. Поляков // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития [Электронный ресурс] : сб. науч. тр. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – Вып. VI. – С. 77 – 81.

References

1. Vanin, V. A. Kinematic structure of metal-cutting machines with hydraulic connections formative / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // STIN. – 2014. – N 5. – P. 2 – 8.

2. Vanin, V. A. Kinematic structure of metal-cutting machines with hydraulic couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – N 34(12). – P. 763 – 768.

3. Vanin, V. A. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2010. – N 30(12). – P. 1248 – 1251.

4. Vanin, V. A. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2011. – N 31(1). – P. 56 – 58.
5. Kolodin, A. N. Backing machines with hydraulic formative relationships : Monograph / A. N. Kolodin, V. A. Vanin, A. A. Rodina. – Deutschland : «LAP Lambert Academic Publishing», 2015. – 169 p.
6. Kolodin, A. N. Optimal construction of the structure of the internal circuits of machine tools based on the GDS / A. N. Kolodin, A. A. Rodina, E. O. Naumov // Virtual simulation, prototyping and industrial design: Proceedings of the international scientific-practical conference / under total. Ed. Doctor of Technical Sciences, prof. V. A. Nemtinova. – Tambov : Publishing House of TSTU, 2015.
7. Kolodin, A. N. Zubostrogalny machine with hydraulic formative links / A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Problems of technogenic safety and sustainable development: a collection of scientific papers of young scientists and students. – Tambov : Publishing House of TSTU, 2015. – Is. VII. – P. 71 – 74.
8. Kolodin, A. N. The use of GDS in shaping circuit screw-Backing Machine / A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Problems of technogenic safety and sustainable development: a collection of scientific papers of young scientists and students. – Tambov : Publishing House of TSTU, 2015. – Is. VII. – P. 79 – 83.
9. Kolodin, A. N. Cutting Gear racks on the machine using the hydraulic shaping relations / A. A. Rodina, A. N. Kolodin, A. V. Soldatov, D. A. Kharin, E. O. Naumov // Problems of technogenic safety and sustainable development: a collection of scientific papers of young scientists and students. – Tambov : Publishing House of TSTU, 2015. – Is. VII. – P. 75 – 78.
10. Rodina, A. A. Kinematic structure of the machine tools with complex movements shaping based on hydraulic drive stepper / A. A. Rodina, I. V. Oblitsov, A. S. Polyakov // Problems of technogenic safety and sustainable development [electronic resource] : Sat. scientific. tr. mol. uch and students. – Tambov : Publishing House of TSTU, 2015. – V. VI. – P. 85 – 89.
11. Rodina, A. A. Synthesis and optimization of the kinematic structure of machines with complex movements shaping based on hydraulic bonds / A. A. Rodina, I. V. Oblitsov, A. S. Polyakov // Problems of technogenic safety and sustainable development [electronic resource] : Sat. scientific. tr. mol. uch and students. – Tambov : Publishing House of TSTU, 2015. – V. VI. – P. 77 – 81.

УДК 621.787.4
ББК 34.5

Иванов В. Е., Фидаров В. Х.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов),

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Ivanov V. E., Fidarov V. H.
Tambov State Technical University
(Tambov, Russia)

OPTIMIZATION OF PROCESS OF A DIAMOND VYGLAZHIVANIYE OF A SURFACE OF STEEL DETAILS

Аннотация. Приводится описание алмазного выглаживания, как метода повышения качества поверхности деталей. Разработан инструмент, предназначенный для упругого выглаживания наружных поверхностей стальных деталей. Рассмотрены механизмы поверхностной микропластической деформации. Предложена математическая зависимость конечной шероховатости поверхности.

Ключевые слова: поверхность, алмазное выглаживание, инструмент, математическая зависимость.

Abstract. Description over of the diamond pressing is Brought, as a method of upgrading of surface of details. The instrument intended for the resilient pressing of outward surfaces of steel details is worked out. The mechanisms of superficial microplastic deformation are considered. The mathematical model of eventual roughness of surface offers.

Keywords: surface, diamond pressing, instrument, mathematical model.

Эксплуатационные свойства деталей машин в значительной степени определяются качеством их рабочих поверхностей. Оно характеризуется шероховатостью, волнистостью, а также совокупностью физико-механических свойств поверхностного слоя.

Шероховатость представляет собой совокупность микроскопических неровностей поверхности, имеющих определенную структуру и периодичность на базовой длине [1]. Несмотря на микроскопические размеры неровностей, образующих шероховатость, они оказывают существенное влияние на такие свойства деталей и их сопряжений как трение и износ; способность удерживать смазку, контактные деформации; концентрация напряжений и усталостная прочность; надежность прессовых соединений; коррозионная стойкость; контактное сопротивление на сдвиг; электрохимическая неоднородность поверхности, а также прочность и качество покрытий [2]. Поэтому технологическое обеспечение заданной шероховатости поверхностей деталей являются важными и ответственными задачами машиностроительного производства.

Одними из наиболее простых и эффективных методов повышения качества поверхностей деталей являются методы поверхностно-пластического деформирования, среди которых важная роль принадлежит алмазному выглаживанию [3 – 5].

Преимущество этого метода заключается в том, что при выглаживании происходит уменьшения шероховатости поверхности и одновременно повышение микротвердости поверхностного слоя.

Цель настоящей работы заключалась в выявлении основных параметров, характеризующих процесс алмазного выглаживания и определении степени их влияния на формирование минимального значения шероховатости поверхности детали, а также построении математической зависимости конечной шероховатости от этих параметров.

Для достижения поставленной цели были разработана экспериментальная установка для выполнения операции алмазного выглаживания наружной поверхности детали типа «Вал» из стали X12 на токарно-винторезном станке, а также спроектирована и изготовлена инструментальная оснастка.

В опытах исследовали сталь X12 ($HВ = 229...143$ МПа). Образцы были выполнены из сортового проката обычной точности и представляли собой кольца шириной 30 мм. Наружный диаметр был равен 50 мм, а внутренний 30 мм. Обработка производилась на токарно-винторезном станке 1И611П. Образцы закреплялись на специальной оправке. Для формирования исходной шероховатости производилось чистовое точение твердосплавным проходным резцом Т15К30 без применения смазочно-охлаждающей жидкости.

Державка с алмазным выглаживателем (рис. 1) устанавливалась в резцедержателе токарного станка подобно проходному резцу, в поперечном направлении к оси шпинделя станка. Алмазный наконечник державки 1, который вставлен в подвижный шток 3 и закреплен винтом 2. Шток может перемещаться внутри корпуса 4 прямоугольного сечения. Внутри корпуса находится пружина 5. Перемещение штока приводит к сжатию пружины и возникновению силы между алмазным наконечником и обрабатываемой деталью. Инструмент в сборе с пружиной тарировался по образцовому динамометру и позволяет задавать силу прижатия в диапазоне 100...300 Н.

Перемещение поперечного суппорта приводило к соприкосновению алмазного наконечника с обрабатываемой поверхностью. Необходимая радиальная сила выглаживания задавалась по показаниям индикатора. В качестве смазки при выглаживании применяется масло «Индустриальное 20».

Прижатый к обрабатываемой поверхности с силой инструмент внедряется в нее на некоторую глубину, в зоне контакта возникают пластические деформации. При этом происходит сглаживание исходной шероховатости, повышается твердость поверхностного слоя, изменяется его микроструктура.

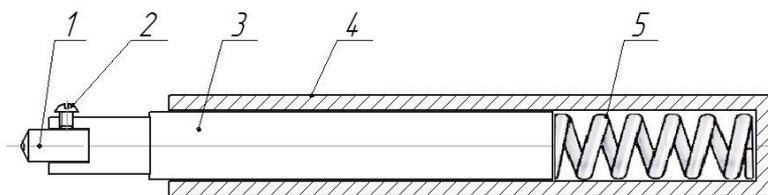


Рис. 1. Оправка для алмазного выглаживания

В результате пластического деформирования обрабатываемой поверхности происходит сглаживание исходных неровностей и образование нового микрорельефа поверхности с меньшим значением шероховатости.

Для измерения параметра Ra использовался профилометр SJ-210 Mitutoyo. Радиус щупа 5 мкм. Диапазон от -200 до $+160$ мкм (360 мкм). Все измерения проводились на пределе $Ra_{\max} = 25$ мкм и разрешении $-0,0016$ мкм.

В опытах для формирования заданной исходной шероховатости поверхности выполнялась операция чистового точения проходным твердосплавным резцом при скорости 50 м/мин, глубине резания 1 мм и подаче 0,15 мм/об. Значение исходной шероховатости всех образцов было равно $Ra = 2,2$ мкм.

В экспериментах варьировали силу прижатия алмазного наконечника к поверхности в диапазоне от 100 до 250 Н с шагом 75 Н при постоянной подаче и каждый раз производили выглаживание. В первой серии опытов подача бала равна $S_1 = 0,05$ мм/об, во второй – $S_2 = 0,075$ мм/об и в третьей – $S_3 = 0,15$ мм/об. Во всех опытах скорость выглаживания была равна 50 м/мин. После эксперимента производилось измерение шероховатости Ra образцов по следующей схеме. Образец-кольцо располагали на призме так, его ось была горизонтальна. Щуп прибора устанавливали посередине между правым и левым торцом кольца и проводили первое измерение. Затем кольцо поворачивали вокруг оси на 120° и вновь производили измерение. Потом образец опять поворачивали на 120° и снимали показания прибора. Результаты измерений усредняли. Данные опытов заносили в таблицу.

В результате предварительных экспериментов были определены верхние и нижние уровни факторов:

$$100 \text{ Н} \leq F \leq 250 \text{ Н}; \quad 0,05 \text{ об/мм} \leq S \leq 0,15 \text{ об/мм}.$$

Затем был проведен полный факторный анализ типа 2^3 . Все вычисления, преобразования, а так же графическая информация были получены с помощью вычислительной программы STATISTICA.

Принятые в исследовании уровни факторов и их кодовые обозначения представлены в табл. 1.

Анализ плана обнаружил следующую непротиворечивую модель для аппроксимации экспериментальных данных:

$$y = b_0 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{1122}x_1^2x_2^2.$$

Таблица 1

Факторы	Кодированное обозначение	Натуральные уровни факторов, соответствующие кодированным		
		верхний	основной	нижний
Сила прижатия F , Н	x_1	250	175	100
Скорость подачи S , мм/об	x_2	0,15	0,075	0,05

Таблица 2

Оценки эффектов; R-кв.=,90722;Скор.,81444 (3**(2-0) полный факторный план, 1 блок (Таблица данных1) в Рабочая35) 2 3-х уровневые ф, 1 Блоки; Остаточн.SS=,0049708 ЗП НовПер										
Фактор	Эффект	Ст.Ош.	t(4)	p	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред	Козф.	Ст.Ош. Козф.	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред
Сред/Св.член	0,545444	0,023501	23,20909	0,000020	0,480194	0,610695	0,545444	0,023501	0,480194	0,610695
S (K)	-0,213667	0,049854	-4,28586	0,012788	-0,352083	-0,075250	-0,106833	0,024927	-0,176042	-0,037625
1L на 2L	-0,069333	0,066472	-1,04305	0,355814	-0,253889	0,115222	-0,034667	0,033236	-0,126944	0,057611
1K на 2L	-0,221000	0,059825	-3,69413	0,020943	-0,387100	-0,054900	-0,110500	0,029912	-0,193550	-0,027450
1K на 2K	-0,184875	0,054952	-3,36427	0,028193	-0,337447	-0,032303	-0,092438	0,027476	-0,168724	-0,016151

В таблице 2 представлены оценки эффектов, результаты регрессионного и дисперсионного анализа. Видно, что все коэффициенты кроме произведения x_1x_2 статистически значимы. На рисунке 2 представлен график функции $y = f(x_1, x_2)$.

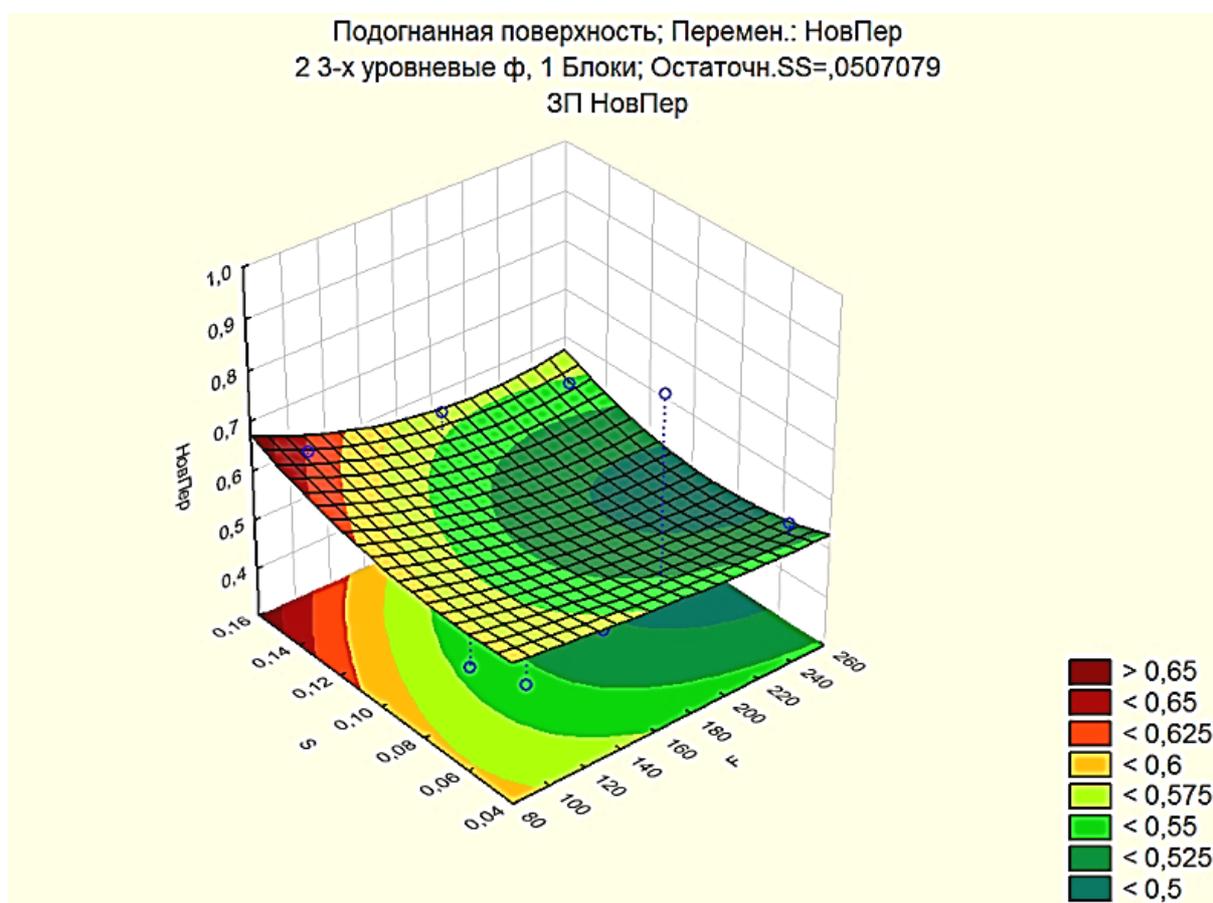


Рис. 2. 3D график функции $y = f(x_1, x_2)$

Таким образом, найдена следующая функция, которая служит критерием оптимальности процесса алмазного выглаживания и позволяющая определить значения силы и подачи, при которых шероховатость принимает минимальное значение:

$$Ra = b_0 + b_{22}S^2 + b_{12}FS + b_{112}F^2S + b_{1122}F^2S_2^2,$$

при

$$100 \text{ Н} \leq F \leq 250 \text{ Н}; \quad 0,05 \text{ об/мм} \leq S \leq 0,15 \text{ об/мм}.$$

Коэффициенты регрессии	b_0	b_{22}	b_{12}	b_{112}	b_{1122}
	0,617450	9,161291	-0,017385	0,000024	0,000104

$$\begin{cases} \frac{\partial Ra}{\partial F} = b_{12}S + 2b_{112}SF + 2b_{1122}FS^2 = 0; \\ \frac{\partial Ra}{\partial S} = 2b_{22}S + b_{12}F + b_{112}F^2 + 2b_{1122}F^2S = 0, \end{cases}$$

$$F_{\min} = 261,125 \text{ Н}; \quad S_{\min} = 0,0893 \text{ мм/об}.$$

После подстановки $Ra_{\min} = 0,4878$ мкм.

Таким образом, разработана методика алмазного выглаживания детали типа «вал», выполненной из стали X12, позволяющая минимизировать конечную шероховатость обрабатываемой поверхности. Спроектирована и изготовлена оснастка, необходимая для выполнения операции алмазного выглаживания. Выявлены наиболее значимые параметры, определяющие процесс выглаживания. В результате анализа результатов полнофакторного эксперимента определены значения силы и подачи необходимые для достижения минимального значения шероховатости поверхности детали.

Список использованных источников

1. Никифоров, А. Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – М. : Высшая школа, 2000. – 510 с.
2. Безъязычный, В. Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин // Инженерный журнал. – 2001. – № 4. – С. 9 – 16.
3. Суслов, А. Г. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / А. Г. Суслов, Р. В. Гуров, Е. С. Тишевских // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – № 9. – С. 20–21.
4. Кузнецов, В. П. Финишная обработка термоупрочненной высокохромистой стали однопроходным алмазным выглаживанием на токарно-фрезерном центре инструментом с узлом динамической стабилизации / В. П. Кузнецов, А. В. Макаров, Р. А. Саврай и др. // Вестник научно-технического развития. – 2011. – № 5(45). – С. 20 – 36.
5. Макаров, А. В. Влияние упрочняющей фрикционной обработки на химический состав, структуру и трибологические свойства высокоуглеродистой стали / А. В. Макаров, Л. Г. Коршунов, В. Б. Выходец, Т. Е. Куренных, Р. А. Саврай // Физика металлов и металловедение. – 2010. – Т. 110, № 5. – С. 530 – 544.

References

1. Nikiforov, A. D. Interchangeability, standardization and technical measurements. – M. : Higher School, 2000. – 510 p.
2. Bezyazychnyj, V. F. Influence of quality of the surface layer after machining on the operational properties of machine parts // Engineering magazine. – 2001. – N 4. – P. 9 – 16.
3. Suslov, A. G. Finishing-strengthening processing by superficial plastic deformation / A. G. Suslov, R. V. Gurov, E. S. Tishevskih // Hardening and coating technology. – 2008. – N 9. – P. 20–21.
4. Kuznecov, V. P. Finishing thermostrengthened high-chromium steel diamond burnishing a single pass on the turning-milling centers tool with dynamic stabilization unit / V. P. Kuznecov, A. V. Makarov, R. A. Savraj et al. // Journal of scientific and technological development. – 2011. – N 5(45). – P. 20 – 36.
5. Makarov, A. V. Effect on friction treatment hardening chemical composition, structure and tribological properties of high carbon steel / A. V. Makarov, L. G. Korshunov, V. B. Vyhodec, T. E. Kurennyh, R. A. Savraj // The Physics of Metals and Metallography. – 2010. – V. 110, N 5. – P. 530 – 544.

УДК 620.2-022.532
ББК 35.710

Худяков В. В., Дмитриев В. М., Баронин Г. С., Бузник В. М.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И НАНОЧАСТИЦ КОБАЛЬТА ***

Khudyakov V. V., Dmitriev V. M., Baronin G. S., Buznik V. M.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

**POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED
ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND COBALT NANOPARTICLES**

Аннотация. В работе представлены результаты анализа строения и свойств композитов на основе политетрафторэтилена и нанодисперсного наполнителя. Показано, что созданные композиты по своим параметрам превосходят исходную матрицу на основе политетрафторэтилена. Проведенные магнитные исследования композиций подтверждают содержание в них металлсодержащих наночастиц и особенности взаимодействия с полимерной матрицей. Определены возможности гибкого управления эксплуатационными характеристиками полученного нанокompозита.

Ключевые слова: нанокompозиты на основе фторполимера, наночастицы кобальта, триботехнические и теплофизические свойства.

Abstract. The work presents the results of structure and properties analysis of based the composites based on polytetrafluoroethylene and nanodisperse filler. It is shown, that created composites excel the initial matrix based on polytetrafluoroethylene. Magnetic research confirms the content of metal-contained nanoparticles and characteristics of the interaction with the polymer matrix. Operational characteristics of the composite can be flexibly controlled.

Keywords: nanocomposites based on fluoropolymer, cobalt nanoparticles, tribological and thermophysical properties.

Развитие современного материаловедения характеризуется широким использованием полимеров, содержащих различные наполнители в виде наноразмерных частиц, определяющих эксплуатационные свойства полученных композитов [1]. В обширном ассортименте используемых полимерных материалов для получения композитов на их основе од-

* Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки РФ в рамках базовой части Госзадания № 2014/219, код проекта 2079 и гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ, код проекта НШ – 2411.2014.3.

но из ведущих мест занимает политетрафторэтилен (ПТФЭ), что обусловлено целым комплексом его повышенных эксплуатационных свойств (гидрофобность, адгезионные свойства, термическая и химическая стойкость и др.). Практическую и научную ценность представляет особая группа полимерных композитов с магнитными наночастицами, что позволяет реализовать их в задачах электромагнитной совместимости, а также при экологических решениях, направленных на снижение электромагнитных загрязнений окружающей среды. Для практического применения актуальны массивные изделия из указанных композитов, которые должны обладать не только высокими магнитными и электрофизическими свойствами, но и улучшенными физико-механическими показателями. Наиболее привлекательными в этом качестве являются композиты с наночастицами кобальта, обладающими наибольшим значением коэрцитивной силы и намагниченности насыщения [2 – 4]. Однако, значительная вязкость расплава и нерастворимость ПТФЭ исключают применение классических жидкофазных технологий получения композитов с гомогенным распределением наночастиц с устранением нежелательной агломерации [1].

Нами разработан способ получения блочных полимерных композитов на основе политетрафторэтилена с частицами нанокобальта, синтезированы образцы и исследованы их свойства и строение.

Композиционные кобальтсодержащие наноматериалы получены методом терморазложения раствора нитрата кобальта на поверхности ультрадисперсного политетрафторэтилена. В процессе термолиза в кипящем слое ультрадисперсного материала образующиеся металлические наночастицы при взаимодействии с поверхностью микрогранул фторполимера фиксируются в виде отдельных неагломерированных частиц. Для получения массивного блочного изделия использовали суспензионный ультратонкий ПТФЭ и, в качестве полимерной матрицы, полученный суспензионный модифицированный ПТФЭ. Такой прием позволяет точно дозировать кобальтсодержащие частицы и получать композиты с незначительной концентрацией наночастиц в той области, где наиболее ярко проявляются улучшения требуемых параметров изделий. Для исследования влияния нанодобавок на свойства полученных композитов были изготовлены образцы по технологии механического смешения, таблетирования и спекания с содержанием наполнителя в диапазоне 0,05–5 масс. % по отношению к суспензионному ПТФЭ.

Анализ композитов на С, Н и F выполнены по стандартной методике сжигания в кислороде с применением СНF-анализатора при точности определения $\pm 0,1\%$. Количественное определение кобальта устанавливалось рентгеновским флуоресцентным анализом на приборе VRA-20 (точность определения 1%). Размер наночастиц и дисперсность распределения в композите измерялось при помощи просвечивающей электронной микроскопии (микроскоп JEOLJEM-1011).

Комплексная оценка эксплуатационных показателей проводилась: при определении удельной скорости поглощения энергии на дифференциальном сканирующем калориметре DSC-2; при измерении тепловых эффектов при линейном изменении температуры образца; при определении теплостойкости и внутренних ориентационных напряжений методом построения диаграмм изотермического нагрева; при нахождении параметров тепло- и температуропроводности экспресс-методом неразрушающего контроля;

при измерении диэлектрической проницаемости бесконтактным способом в плоском конденсаторе; при оценке износостойкости в режиме абразивного износа.

Исследование исходного ультрадисперсного ПТФЭ выявили следующее:

- исходный ультратонкий ПТФЭ имеет форму, близкую к сферической;
- структура гранул хорошо описывается моделью ядро-оболочка;
- концентрация кобальта составляет 9,73 масс. %;
- средний размер частиц не превышает 5 нм;
- наночастицы распределены равномерно по поверхности микрогранул ультрадисперсного ПТФЭ;
- композиции из ультратонкого ПТФЭ и наночастицкобальта имеют как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные фракции ПТФЭ;
- сложное строение использованного дисперсного наполнителя положительно влияет на физические и термические свойства блочного материала;
- наблюдается увеличение диэлектрической проницаемости при малых концентрациях наполнителя (0,01 – 0,05 масс.);
- установлена возможность целенаправленного изменения свойств молекулярных нанокомпозитов.

Список использованных источников

1. Бузник, В. М. Металлополимерные нанокомпозиты / В. М. Бузник, В. М. Фомин, А. П. Алхимов и др. // Интеграционные проекты СО РАН. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2005. – Вып. 2. – 260 с.
2. Yurkov, G. Y. New magnetic materials based on cobalt and iron-containing nanoparticles / G. Y. Yurkov, D. A. Baranov et al. // Composites Part B: Engineering. – 2006. – V. 37, N 6. – С. 413 – 417.
3. Gubin, S. P. Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties / S. P. Gubin, Yu. A. Koksharov, G. B. Khomutov, G. Yu. Yurkov // Russian Chemical Reviews. – 2005. – V. 74, N 6. – С. 489 – 520.
4. Yang, H. T. Self-assembly and magnetic properties of cobalt nanoparticles. Applied Physics Letters / H. T. Yang, C. M. Shen, Y. K. Su et al. – 2003. – V. 82. – N 26. – P. 4729.

References

1. Buznik, V. M. Metal-polymer nanocomposites / V. M. Buznik, V. M. Fomin, A. P. Alchemy et al. // Integration projects of SB RAS. – Novosibirsk : Publishing house SB RAS, 2005. – V. 2. – 260 p.
2. Yurkov, G. Y. New magnetic materials based on cobalt and iron-containing nanoparticles / G. Y. Yurkov, D. A. Baranov et al. // Composites Part B: Engineering. – 2006. – V. 37, N 6. – С. 413 – 417.
3. Gubin, S. P. Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties / S. P. Gubin, Yu. A. Koksharov, G. B. Khomutov, G. Yu. Yurkov // Russian Chemical Reviews. – 2005. – V. 74, N 6. – С. 489 – 520.
4. Yang, H. T. Self-assembly and magnetic properties of cobalt nanoparticles. Applied Physics Letters / H. T. Yang, C. M. Shen, Y. K. Su et al. – 2003. – V. 82. – N 26. – P. 4729.

Малыгин Е. Н., Фидаров В. Х., Дашков А. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛУНЖЕРА ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА МАРКИ СЧ-20

Malygin E. N., Fidarov W. H., Dashkov A. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

PLUNGER PRODUCTION OF CAST IRON BRAND MF-20

Аннотация. Представлены методика и результаты анализа изготовления плунжера из труднообрабатываемого материала – чугуна СЧ20 на заводе «Тамбовполимермаш».

Ключевые слова: труднообрабатываемые материалы, токарная обработка, режущий инструмент.

Abstract. Presents methodology and results of the analysis of the production of the plunger from the hard material – iron SCh20 factory «Tambovpolimer mash».

Keywords: hard materials, turning, cutting tools.

Плунжер (рабочий чертеж, рис. 1) является составной деталью гидроцилиндра вулканизационного пресса 250-600, выпускаемых заводом «Тамбовполимермаш». Плунжер в гидроцилиндре совмещает функции поршня и штока и предназначен для осуществления необходимых в процессе вулканизации деталей перемещений и прижатия пресс-форм с заданным усилием (до 2,5 МН),

Плунжер представляет собой полую цилиндрическую деталь с наружной поверхностью $\varnothing 320f7$ и внутренней $\varnothing 115H4$ мм длиной 660 мм. Рабочими поверхностями плунжера являются поверхность $\varnothing 320f7$, образующая пару скольжения с втулкой гидроцилиндра, и одна из торцовых поверхностей, к которой прикрепляется при помощи 8-ми винтов нижняя плита пресса.

Техническими условиями на изготовление предусмотрено обеспечение высокой точности диаметрального размера рабочей поверхности плунжера $\varnothing 320$ по $f7$ качеству и шероховатости ее не более $Ra = 0,32$ мкм. Биение торцовой поверхности плунжера относительно наружной поверхности должно составлять не более 0,06 мм на $\varnothing 320$ мм. С целью обеспечения высокой износостойкости твердость рабочей поверхности плунжера должна быть не менее 44...46 единиц по HRC, которая достигается в настоящее время за счет отбеленного слоя заготовки.

Заготовкой плунжера является отливка из чугуна СЧ20 (ГОСТ 1412–79). Заготовка поступает по кооперации с Лутугинского машиностроительного завода со следующими

размерами: длина 1470 мм, диаметр 340 мм. Заготовка имеет сквозное отверстие $\varnothing 50$ мм. Допуски на размеры заготовки соответствуют III классу точности (ГОСТ 1855–85). Со стороны рабочей поверхности детали в заготовке не допускаются трещины, раковины, мелкие включения и другие дефекты. Глубина отбеленного слоя должна быть не менее 20...25 мм, твердость на поверхности не менее 50 ед. по HRC. Из одной заготовки изготавливают две детали. Масса заготовки (на одну деталь) составляет 514,8 кг, коэффициент использования материала $K_m = 0,7$.

Производственная программа изготовления плунжеров на «Тамбовполимермаш» составляет порядка 650 деталей в год, что соответствует среднесерийному характеру их производства.

Технология механической обработки плунжера состоит из токарной черновой (операция 005) и чистовой (010) обработки наружной поверхности, выполняемой за 3 перехода; токарной операции (025), связанной с обработкой отверстия $\varnothing 115$ НЧ, обработкой торцов, образованием на одном из них кольцевой выточки $\varnothing 148 \times 139$ мм и снятием фасок; сверлильной операции (035) по сверлению и нарезанию резьбы 8-ми крепежных отверстий М16-7Н в торце плунжера; шлифовальной (045) и полировальной (055) операций, связанных с обеспечением заданной точности и шероховатости рабочей поверхности плунжера $\varnothing 320$ f7.

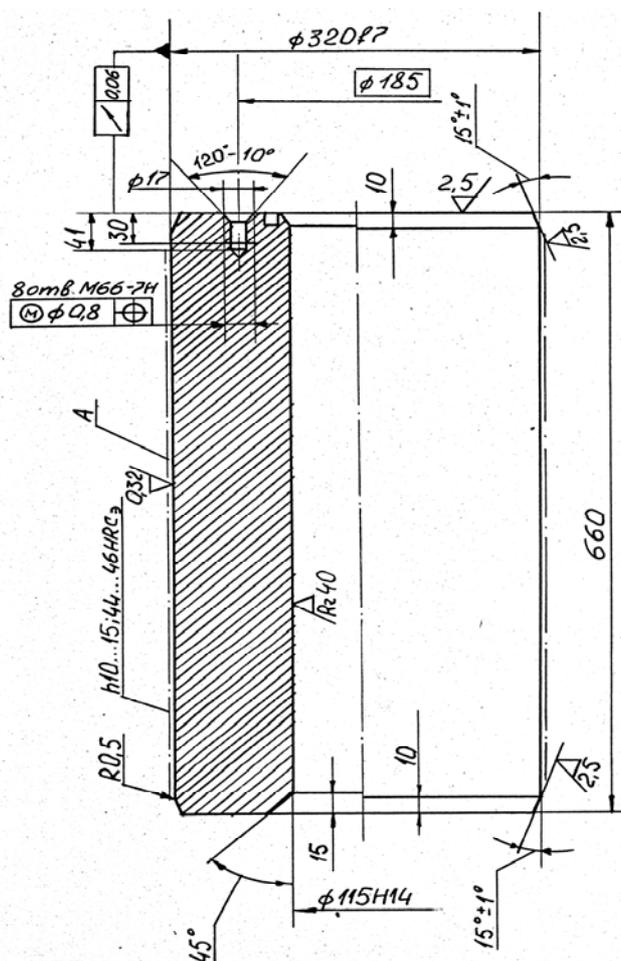


Рис. 1. Плунжер вулканизационного прессы

Как показал анализ технологии, трудоемкость механической обработки плунжера (штучное время) составляет на настоящее время 23,67 н/ч, из них почти 50% трудоемкости (11,09 н/ч) приходится на долю первых двух токарных операций, связанных с черновой и чистовой обточкой наружной поверхности плунжера. В этой связи повышение производительности токарных операций при обточке плунжеров представляет важную производственную задачу для завода «Тамбовполимермаш».

Исследование технологии токарной обработки плунжеров на рабочих местах показало следующее.

Токарная обработка (черновая и чистовая) плунжеров выполняется на станках модели 165. Заготовка ($\varnothing 340 \times 1470$ мм) устанавливается с выверкой в 4-х кулачковом патроне с поджимом в торец задним центром. В качестве режущего инструмента используется проходные призматические ($H \times B = 40 \times 25$ мм) резцы с напаянными пластинками из твердого сплава ВК8.

Черновое точение поверхности плунжера осуществляется с $\varnothing 340$ до $\varnothing 330$ мм за 3 прохода на следующих режимах $t = 2 \dots 4$ мм; $S = 1,43 \dots 2,04$ мм/об; $V = 5,3$ м/мин.

Чистовая обточка поверхности плунжера осуществляется с $\varnothing 330$ до $321,5 \pm 0,12$ мм за 3 прохода на тех же, что и при черновой обработке режимах резания. На чистовом (последнем) проходе иногда на рабочих местах применяют следующий режим обработки $t = 0,5$ мм; $S = 1,32$ мм/об; $V = 22,8$ м/мин.

Токарная обработка плунжера сопровождается большим износом и расходом резцов. Вид износа резцов преимущественно абразивный с образованием на гранях больших площадок износа. Иногда износ резцов сопровождается со сколом режущих кромок инструмента. Особенно тяжелым с этой точки зрения представляет точение плунжера по корке.

Число установок резца, связанных с их переточкой и заменой, на I проходе составляет от 4 до 8, а общее число установок за всю токарную обработку плунжера составляет не менее 18-20. Это значительно увеличивает долю непроизводительных затрат в структуре штучного времени токарной обработки.

Допустимое число переточек резца до полного его износа составляет не более 3 – 5, т.е. расход резцов на токарную обработку плунжера составляет не менее 5–6 штук.

После каждой заточки обработка продолжается с возвратом резца назад на 30...50 мм, вследствие чего суммарная длина обработки плунжера увеличивается на 2000 мм, вместо расчетного ее значения 1470 мм.

Таким образом, результаты анализа и исследования на рабочих местах технологии токарной обработки плунжеров на заводе «Тамбовполимермаш» показали следующее.

Токарная обработка наружной (рабочей) поверхности плунжеров на заводе в настоящее время составляет 50% от всей трудоемкости их механической обработки. Точение плунжера сопровождается значительным расходом режущего инструмента, частыми перерывами, связанными с его заточкой, многократными возвращениями резца назад при возобновлении обработки, что существенно увеличивает долю непроизводительных затрат в структуре штучной токарной обработки.

УДК 62-1/-9
ББК М34.42

Малыгин Е. Н., Фидаров В. Х., Дашков А. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Malygin E. N., Fidarov W. H., Dashkov A. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

PRODUCT PROCESSING METHODS FROM HARD MATERIALS

Аннотация. Проведен анализ способов обработки изделий из труднообрабатываемых материалов.

Ключевые слова: труднообрабатываемые материалы, токарная обработка, режущий инструмент.

Abstract. The analysis of the methods of processing the product of the hard materials.

Keywords: hard materials, turning, cutting tools.

Непрерывный процесс совершенствования металлургами жаропрочных и нержавеющей материалов, характеризующийся ростом их прочности и других физико-механических характеристик, а также создание новых групп сверхпрочных сплавов затрудняет обработку их обычными способами резания. Наряду с внедрением новых видов материалов проводят работы по изысканию качественно новых способов их обработки. Увеличивающаяся диспропорция между возможностями металлургии и обработки резанием, объясняется несовершенством применяемых в настоящее время способов обработки заготовок деталей.

Создание качественно новых способов обработки ведется в направлении изменения характера приложения механического воздействия на срезаемый слой, использования химических и электрических процессов, а также применения комбинированных методов обработки, основанных на совмещении механического, теплового, химического и электрического воздействий.

Химическими называются способы обработки, использующие химическую энергию непосредственно для технологических целей; в этом случае обработку, т.е. снятие определенного слоя металла, осуществляют в химически активной среде.

Электрическими называют способы обработки, использующие электрическую энергию непосредственно для технологических целей, т.е. путем подвода ее в зону резания без промежуточного превращения в другие виды энергии.

Преобразование электрической энергии в другой вид энергии (тепловую, химическую и др.) происходит непосредственно в обрабатываемом материале. В соответствии с этим электрические методы обработки разделяют на электротермические, использующие преимущественно тепловое действие, электрохимические, использующие химическое действие электрического тока, электроэрозионные, использующие его эрозионное действие.

Сочетание каждого из рассмотренных выше видов воздействия с другим, а также комбинации их из трех или четырех определяют известные к настоящему времени способы обработки резанием (табл. 1).

В результате практического использования этих способов обработки широко известный процесс обработки резанием, характеризующийся изготовлением деталей заданной формы, размеров, точности и чистоты поверхности посредством срезания слоя материала в виде стружки, качественно видоизменяется. За последние несколько лет получили широкое практическое применение, или прошли подробные испытания в лабораторных условиях следующие способы обработки:

1. Способы обработки, основанные на изменении характера механического воздействия на срезаемый слой: вибрационное резание, ультразвуковая обработка, сверхскоростное резание.

2. Способы обработки, основанные на термомеханическом воздействии: резание с предварительным подогревом заготовок, резание с непрерывным предварительным нагревом материала срезаемого слоя в процессе движения резца токами высокой частоты.

3. Способы обработки, основанные на одновременном механическом и химическом воздействии на срезаемый слой осуществляет удаление металла за счет химических реакции между обрабатываемой поверхностью и окружающей средой, при одновременном механическом воздействии.

4. Способы обработки, основанные на электрическом воздействии; к ним относятся: электроконтактная, электрохимическая, электроэрозионная, анодно-механическая обработки.

Обобщения пунктов 1 – 4 сведено в табл. 1. Электроконтактная обработка (ЭМ) осуществляется путем удаления материала срезаемого слоя в сочетании электротермического и электроэрозионного воздействий с механическим выносом образующихся продуктов; этот метод используют для резки заготовок, точения, сверления и очистки от окалины.

Электрохимическая обработка (Эх) осуществляется с помощью постоянного тока низкого напряжения в среде токопроводящих жидкостей – электролитов. Снятие материала срезаемого слоя происходит в результате его анодного растворения.

Электроэрозионная обработка (Ээ) осуществляется посредством импульсного электрического газового разряда, вызывающего эрозионное разрушение материала срезаемого слоя.

Таблица 1

Наименование способа обработки	Обозначение	Виды физического воздействия на материал срезаемого слоя									
		Механическое				Химическое	Термическое	Электрическое			
		равномерное	вибрационное		сверхскоростное			тепловое	химическое	эрозионное	механическое
			низкочастотное	высокочастотное							
Обычное резание	М	X									
Резание в специальных средах	МХ	X				X					
Вибрационное резание для дробления стружки	Мв.нч	X	X								
Вибрационное резание для облегчения деформации	Мв.вч	X		X							
Вибрационное резание в специальных средах	Мв.Х	X		X		X					
Сверхскоростное резание	Мсв.ск				X						
Обработка резанием с нагревом	Мт	X					X				
Резание с вводом электрического тока	МЭт	X						X			
Электроконтактная обработка	ЭМ	X						X		X	
Анодно-механическая обработка	ЭХМ	X						X	X	X	
Электрохимическая обработка	ЭХ							X			
Электроэрозионная обработка	ЭЭ									X	
Электрогидравлическая обработка	ЭМ									X	
Электронно-лучевое резание	Эт							X		X	

Наименование способа обработки	Обозначение	Виды физического воздействия на материал срезаемого слоя									
		Механическое				Химическое	Термическое	Электрическое			
		равномерное	вибрационное		сверхскоростное			тепловое	химическое	эрозионное	механическое
			низкочастотное	высокочастотное							
Обработка когерентным световым лучом с помощью квантово-оптических генераторов (лазеров)	Эт. э						X		X		
Химическое фрезерование	X					X					
Химико-механическая обработка	хм	X				X					

Анодно-механическая (электро-химико-механическая) (ЭХМ) обработка осуществляется в условиях, аналогичных электрохимической, но с одновременным механическим воздействием на обрабатываемую поверхность. Она подразделяется на два вида: чистовую, когда съем материала срезаемого слоя происходит в результате рассмотренных выше воздействий, и черновую, когда механическое воздействие дополняется электроэрозионным и выделением тепла в точках соприкосновения электродов.

Электромеханическая обработка использует преимущественно механическое действие электрического тока; на этом основана электрогидравлическая обработка, использующая действие ударных волн, возникающих в результате импульсного пробоя жидкой среды, электромагнитное формование – импульсное формоизменение силами взаимодействия магнитного тока проводника с магнитным полем, индуцированным в заготовке.

Комбинированными методами обработки резанием называются методы, использующие для снятия заданного слоя металла одновременное воздействие нескольких, различных по своему физическому существу явлений. Помимо этого, в ряде случаев освоение комбинированных методов обработки позволяет достигнуть новых технических эффектов, определяющих значительное увеличение прочностных, жаростойких и других эксплуатационных параметров деталей. Так, например, в настоящее время исследуют метод анодно-механической обработки жаропрочных сплавов с наложением вибраций низкой и ультразвуковой частоты, метод вибрационного сверления с вводом постоянного тока в зону резания, метод химико-механической обработки с наложением обычного и вибрационного резания, электроэрозионную и электрохимическую обработку с ультразвуковыми колебаниями электрода.

УДК 62-1/-9
ББК М34.42

Малыгин Е. Н. Фидаров В. Х. Дашков А. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ОТБЕЛЕННОГО ЧУГУНА

Malygin E. N., Fidarov W. H., Dashkov A. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

THE TEST RESULTS OF THE CUTTING TOOL IN THE MANUFACTURE OF PARTS FROM CHILLED CAST IRON

Аннотация. Приводятся сравнительный анализ испытаний режущего инструмента при обработке деталей из отбеленного чугуна.

Ключевые слова: труднообрабатываемые материалы, токарная обработка, режущий инструмент.

Abstract. The comparative analysis of the cutting tool tests for machining of chilled cast iron.

Keywords: hard materials, turning, cutting tools.

Важным средством повышения эффективности исследования и расширения объема получаемой информации является проведение испытаний в условиях производства. В связи с использованием для изготовления плунжеров специальных заготовок, из отбеленного серого чугуна, обладающих большой массой (~515 кг) и размерами (~1500 мм), и в связи с тем, что лаборатория кафедры не располагает соответствующим технологическим оборудованием, все экспериментальные испытания проводились в производственных условиях на заводе «Полимермаш» на реальных заготовках и действующем заводском оборудовании.

Испытания проводились при точении резцами заводской конструкции с износостойким покрытием.

Выводы:

1. Износостойкие покрытия для резцов заводской конструкции не являются эффективным при обработке отбеленного чугуна как черновой, так и получистовой. Резцы требуют переточка через 200...300 м пути резания или через 10 – 15 мин работы.

2. Изменение геометрии режущей части резца, в частности, угла в плане ϕ , переднего угла γ также не дает эффекта.

Отборочные испытания инструментальных материалов для экспериментальных исследований токарной обточки деталей из отбеленного чугуна СЧ20.

Целью исследования являлось сравнительное испытание резцов с различными инструментальными материалами на стойкость.

Выводы:

1. В результате выполненных отборочных исследований для дальнейших испытаний рекомендованы резцы оснащенные инструментальными материалами: твердым сплавом типа ВК, МС; минералокерамикой ВОК60 и кортинитом; сверхтвердыми материалами – эльбором (композит 01), композитом 10.

2. Жесткость станка модели 165 вследствие конструктивных недостатков и больших износов элементов станка для проведения эффективных испытаний стойкости инструментальных материалов недостаточна. По этой причине происходит отжатие инструмента и возникновение неточности геометрической формы обрабатываемой заготовки.

3. Для достижения заданной точности требуется вводить дополнительные технологические проходы, что снижает производительность токарной обработки.

Результаты испытания при точении резцами с твердосплавными пластинами серии МС

В последние годы разработаны и получили распространение для обработки труднообрабатываемых сплавов твердые сплавы серии МС (ТУ48-19-308–80). По литературным данным сплавы этой группы превосходят по режущим свойствам стандартные сплавы из металлокерамики по ГОСТ 3882–74.

В настоящей работе проводились испытания многогранных неперетачиваемых пластин (МНИ) из сплавов, рекомендуемых для чернового и получистового точения отбеленных чугунов, типа МС321; МС318; МС3210 с покрытием карбидом титана (TiC). Испытывались 4-5-6 – гранные пластины, сплошные и с отверстием для крепления (МС3210). Для крепления пластин были разработаны специальные резцы, имеющие более прочные и жесткие державки, по сравнению со стандартными. Предусматривалась постановка в державку одной, двух или трех одностипных пластин для обработки плунжеров по схеме разделения припуска.

Для установления истинной стойкости режущего инструмента из сплава МС и эффективности обработки плунжеров с разделением припуска и повышения ее производительности является целесообразным провести дополнительные исследования на новом станке модели 165, монтируемом в цехе.

Кроме этого следует оптимизировать геометрию режущей части инструмента – уменьшить величину главного угла в плане и вести обработку с отрицательным значением переднего угла, что позволит получить некоторое упрочнение инструмента.

Результаты испытания при точении резцами с твердосплавными пластинами серии ТК, ВП, ВК

В работе для обточки плунжеров испытывались режущие пластины из следующих сплавов:

- 1) на вольфрамовой основе – ВК8, ВК8-КИБ (с покрытием ВК6М ВК4; С28; ВК15;
- 2) на титановольфрамовой основе – ВП1255; ВП3325; ВП332;
- 3) на титанотанталовольфрамовой основе – Т8К7.

Выводы:

1. Эффективность токарной обработки плунжеров пластинами из сплава ВК8, Т8К7ВП оказалась невысокой. Пластины из сплавов ВКВ, Т8К7 интенсивно изнашивались по задней поверхности; пластины из сплава ВП оказались недостаточно прочными и разрушались.

2. Удовлетворительную работоспособность при обточке плунжеров показали пластины из сплава VC28. Резцы, оснащенные пластинами из VC28, можно рекомендовать для обточки плунжеров по корке, для получистового и чистового обтачивания. Производительность токарной обработки поверхности детали при режимах обработки: $V = 9,5 \dots 16$ м/мин; $S = 2,04 \dots 2,85$ мм/об; $t = 1,5 \dots 2,5$ мм увеличивается более 2-х раз по сравнению с заводской технологией.

3. Применение специальных резцов конструкции ТГТУ с механическим креплением пластин из сплава ВК60М для обточки плунжеров обеспечивают повышение производительности обработки в 2,85 раза.

4. Для обработки плунжеров рекомендуются следующие режимы обработки:

- два черновых прохода: $n = 11$ мин⁻¹; $S = 3$ мм/об; $t = 2$ и более мм;
- получистовой проход: $n = 16$ мин⁻¹; $S = 2,5$ мм/об; $t = 2$ мм;
- чистовые проходы: $n = 19$ мин⁻¹; $S = 5$ мм/об; $t = 0,5 \dots 1$ мм.

5. Разработанный технологический процесс токарной обработки плунжеров резцами с механическим креплением пластин из сплава ВК6-ОМ можно рекомендовать к внедрению на заводе «Тамбовполимермаш».

Результаты испытаний режущего инструмента, оснащенного сверхтвердыми и керамическими материалами, при обработке деталей из отбеленного чугуна

Испытывался режущий инструмент из композита 01; композита 05; композита 10.

Работоспособность режущих материалов из СТМ и керамики испытывалась при обточке плунжеров на получистовых и чистовых проходах, при обработке валков – на получистовых проходах. Режимы резания: $V = 80 \dots 130$ м/мин, глубина резания на одну пластину 0,5...1,0 мм, подача $S = 0,2 \dots 0,5$ мм/об. Проведенные опыты показали высокие режущие и прочностные свойства материалов из СТМ при обработке плунжеров, особенно на получистовых и чистовых проходах, при обточке резцами с пластинками из композита 01. При этом длину обработки всей заготовки производили без поворота или смены режущей пластины, износ пластин в этом случае практически отсутствовал, либо был небольшим. Обработка единичными резцами сопровождается снятием небольшого припуска ($t \sim 0,5$). Целесообразным является увеличение снимаемого припуска за счет использования ступенчатых резцов по принципу разделения припуска.

При обточке плунжера резцом, оснащенного тремя пластинами из композита 05, происходило разрушение пластин. Причинами разрушения режущих пластин являются, на наш взгляд, недостаточная жесткость и высокая степень износа элементов станка, вибрации системы и неудовлетворительные температурные условия работы пластин из-за отсутствия охлаждения.

При токарной обработки, резцами из сверхтвердого материала, использовалось следующее: исходные данные – размер обрабатываемой поверхности бочки вальцов – диаметр $d = 555$ мм, длина $l = 800$ мм, режимы резания:

а) заводской вариант: $n = 5$ мин⁻¹; $S_0 = 2,04$ мм/об; $t = 1,5$ мм;

б) опытный вариант: $n = 50$ мин⁻¹; $S_0 = 0,51$ мм/об; $t = 2,25$ мм (обработка резцами из композита 10).

Повышение производительности токарной обработки отбеленного чугуна резцами из сверхтвердых материалов (композит 10) составляет:

$$n = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{97,6}{26,1} = 3,5 \text{ раза.}$$

Общие выводы проведенной работы:

1. Применение специальных резцов конструкции ТГТУ с механическим креплением пластин из сплава ВК6-ОМ обеспечивает повышение производительности токарной обточки плунжеров в 2,85 раза.

2. Для обработки плунжеров рекомендуются следующие режимы обработки: два черновых прохода: $n = 16$ мин⁻¹; $S = 3$ мм/об; $t = 2$ мм; получистовой проход: $n = 16$ мин⁻¹; $S = 5$ мм/об; $t = 2$ мм; чистовой проход: $n = 19$ мин⁻¹; $S = 5$ мм/об; $t = 0,5 \dots 1$ мм.

3. Разработанный технологический процесс токарной обточки плунжеров резцами с механическим креплением пластин из сплава ВК6-ОМ можно рекомендовать к внедрению на заводе «Тамбовполимермаш».

4. Удовлетворительную работоспособность при обточке плунжеров показали пластины из сплава VC28(США). Резцы, оснащенные пластинами из VC28, можно рекомендовать для обточки по корке, получистового и чистового обтачивания. Производительность токарной обработки при режимах обработки: $n = 9,5 \dots 16$ мин⁻¹; $S = 2 \dots 2,85$ мм/об; $t = 1,5 \dots 2,5$ мм увеличивается в 2 – 2,5 раза по сравнению с заводской технологией.

5. Результаты опытов показали, что эффективность обработки плунжеров пластинами ВК8, Т8К7, ВП оказалась низкой. Пластины интенсивно изнашиваются, либо разрушаются (сплав ВП).

УДК 621(075)
ББК К5я73

Фидаров В. Х., Ванин В. А.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

**АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЗАТРАТ
ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Fidarov V. H., Vanin V. A.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

**PERFORMANCE AND COST ANALYSIS FOR MACHINING OF WORKPIECES
OF MACHINE PARTS FROM COMPOSITE MATERIALS**

Аннотация. Выполнен обзор и анализ существующих технологических процессов обработки заготовок деталей машин из труднообрабатываемых материалов, и определены направления исследований по повышению производительности и снижению энергетических и материальных затрат при обработке заготовок из отбеленного чугуна.

Ключевые слова: токарная обработка, отбеленный чугун, производительность, затраты.

Abstract. Review and analysis of existing technological processes of machine parts machining of difficult materials, and identify areas for research to improve performance and reduce energy and material costs for processing workpieces made of bleached pig iron.

Keywords: turning, bleached pig iron, productivity, costs.

Заготовки деталей машин из жаропрочных, коррозионно-стойких, высоколегированных сталей и отбеленного чугуна трудно поддаются механической обработке резанием лезвийным инструментом и поэтому их приходится обрабатывать при пониженных режимах резания, малой производительности, большом расходе дорогостоящего инструментального материала из-за интенсивного их износа и затрат времени на частую переточку инструмента.

В связи с этим актуальной для машиностроения является задача повышения производительности труда и снижения затрат при обработке заготовок деталей машин из труднообрабатываемых материалов.

Для повышения обрабатываемости резанием заготовок деталей машин из таких материалов и повышения производительности обработки в машиностроении разработаны следующие способы.

1. Способы обработки, основанные на изменении характера механического воздействия на срезаемый слой: вибрационное резание, ультразвуковая обработка, сверхскоростное резание.

2. Способы обработки, основанные на термомеханическом воздействии: резание с предварительным подогревом заготовок, резание с непрерывным предварительным нагревом материала срезаемого слоя в процессе движения резца токами высокой частоты.

3. Способы обработки, основанные на одновременном механическом и химическом воздействии на срезаемый слой – осуществляют удаление металла срезаемого слоя за счет химических реакций между обрабатываемой поверхностью и окружающей средой, при одновременном механическом воздействии интенсифицирующим процесс.

4. Способы обработки, основанные на электрическом воздействии; к ним относятся: электроконтактная, электрохимическая, электроэрозионная, анодно-механическая обработки.

5. Комбинированные методы обработки, использующие для снятия заданного слоя металла одновременное воздействие нескольких, различных по своему физическому существу явлений; как правило, применение комбинированных методов повышает производительность и точность обработки, увеличивает стойкость инструмента по сравнению с отдельными составляющими их методами. Помимо этого, в ряде случаев освоение комбинированных методов обработки позволяет достигнуть новых технических эффектов, определяющих значительное увеличение прочностных, жаростойких и других эксплуатационных параметров деталей. Так, например, в настоящее время исследуют метод анодно-механической обработки жаропрочных сплавов с наложением вибраций низкой и ультразвуковой частоты, метод вибрационного сверления с вводом постоянного тока в зону резания, метод химико-механической обработки с наложением обычного и вибрационного резания, электроэрозионную и электрохимическую обработку с ультразвуковыми колебаниями электрода.

Однако все эти методы связаны или с повышенными энергозатратами (предварительный подогрев заготовок, электрофизические и электрохимические методы) и малой производительностью или же изменяют структурное состояние поверхностного слоя обработанной детали, что в ряде случаев совершенно недопустимо (например при обработке плунжеров гидроцилиндров вулканизационных прессов из отбеленного чугуна – поверхность плунжера должна оставаться отбеленной для износостойкости).

Энергоемкость и производительность различных методов обработки по данным В. Э. Пуша [1] приведены в табл. 1.

1. Производительность и энергоемкость методов обработки

Вид обработки	Производительность, см ³ /мин	Мощность, кВт	Вид обработки	Производительность, см ³ /мин	Мощность, кВт
Точение	1500	0,06	Электрохимическая	15	10
Шлифование	800	0,6	Ультразвуковая	1,0	25
Электроискровая	15	1,0	Лазерная	0,01	4000

Из таблицы 1 видно, что наименее энергоемким и более производительным методом обработки является обработка лезвийным инструментом, т.е. точение.

В связи с этим в данной работе исследования по изысканию путей повышения производительности проводились при токарной обработке точением заготовок плунжеров гидроцилиндров вулканизационных прессов из серого чугуна СЧ20 с отбеленным поверхностным слоем в производственных условиях завода «Тамбовполимермаш».

Плунжер (рабочий чертеж – рис. 1) является составной деталью гидроцилиндра вулканизационного пресса 250-600, выпускаемых заводом «Тамбовполимермаш». Плунжер в гидроцилиндре совмещает функции поршня и штока и предназначен для осуществления необходимых в процессе вулканизации деталей перемещений и прижатия пресс-форм с заданным усилием (до 2,5 МН),

Плунжер представляет собой полуцилиндрическую деталь с наружной поверхностью $\varnothing 320f7$ и внутренней $\varnothing 115H14$ мм длиной 660 мм. Рабочими поверхностями плунжера являются поверхность $\varnothing 320f7$, образующая пару скольжения с втулкой гидроцилиндра, и одна из торцовых поверхностей, к которой прикрепляется при помощи 8-ми винтов нижняя плита пресса.

Заготовкой плунжера является отливка из чугуна СЧ20 (ГОСТ 1412–79). Заготовка имеет следующими размерами: длина 1470 мм, диаметр 340 мм. Допуски на размеры заготовки соответствуют III классу точности (ГОСТ 1855–85). Со стороны рабочей поверхности детали в заготовке не допускаются трещины, раковины, мелкие включения и другие дефекты. Глубина отбеленного слоя должна быть не менее 20... 25 мм, твердость на поверхности не менее 50 ед. по HRC. Из одной заготовки изготавливают две детали. Масса заготовки (на одну деталь) составляет 514,8 кг, коэффициент использования материала $K_m = 0,7$.

Исследование существующей технологии токарной обработки плунжеров на заводе показало следующее.

Токарная обработка (черновая и чистовая) плунжеров выполняется на станках модели 165. Заготовка ($\varnothing 340 \times 1470$ мм) устанавливается с выверкой в 4-х кулачковом патроне с поджимом в торец задним центром. В качестве режущего инструмента

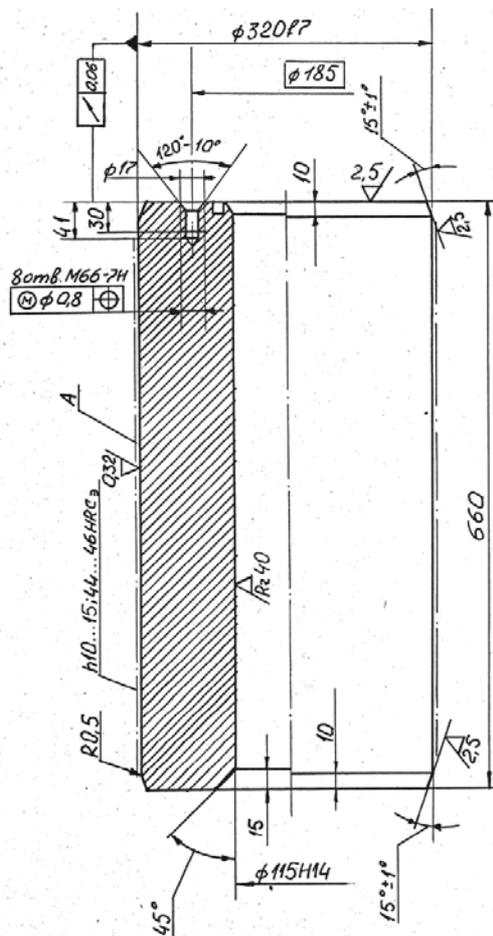


Рис. 1. Плунжер вулканизационного пресса

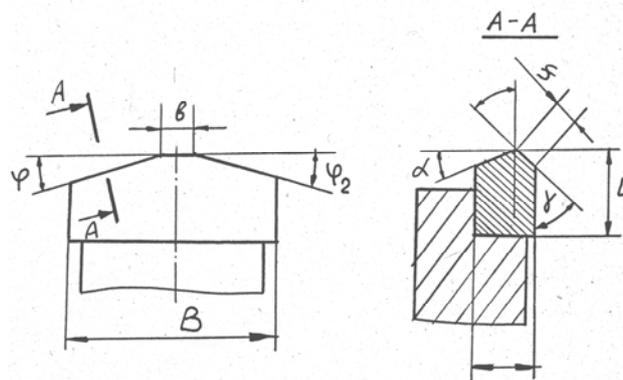


Рис. 2. Геометрические элементы режущей части резца

используется проходные призматические ($H \times B = 40 \times 25$ мм) резцы с напаянными пластиками из твердого сплава ВК8.

Геометрия заточки режущей части резцов показана на рис. 2.

Значения конструктивных и геометрических параметров режущей части заводских резцов представлены в табл. 2.

Черновое точение поверхности плунжера осуществляется с диаметра 340 мм до диаметра 330 мм за 3 прохода на следующих режимах: $t = 2 \dots 4$ мм; $S = 1,43 \dots 2,04$ мм/об; $V = 5,3$ м/мин, где t – глубина резания, мм; S – скорость подачи, мм/мин; V – скорость резания, м/мин.

Чистовая обточка поверхности плунжера осуществляется с диаметра 330 мм до диаметра 321,5 мм за 3 прохода на тех же, что и при черновой обработке режимах резания. На чистовом (последнем) проходе иногда применяют следующий режим обработки: $t = 0,5$ мм; $S = 1,32$ мм/об ; $V = 22,8$ м/мин.

При обработке возникают значительные силы резания из-за высокой твердости заготовки, что ведет к повышенному нагреву режущей пластины резца, ее интенсивному износу и необходимости в частых переточках резца или же замене резца на новый.

Вид износа резцов преимущественно абразивный с образованием на гранях больших площадок износа. Иногда износ резцов сопровождается сколом режущих кромок инструмента. Особенно тяжелым с этой точки зрения представляет точение плунжера по корке.

2. Значения параметров режущей части резцов

Параметр	Величина, град	Параметр	Величина, мм
$\phi 1$	10...12	H	10
$\phi 2$	10...12	L	14
γ	-(5...8)	B	30
α	6...10	B	1...3
		f	1...2

Число установок резца, связанных с их переточкой и заменой, на I проходе составляет от 4 до 8, а общее число установок за всю токарную обработку плунжера составляет не менее 18 – 20. Это значительно увеличивает долю непроизводительных затрат в структуре штучного времени токарной обработки. Допустимое число переточек резца до полного его износа составляет не более 3 – 5, т.е. расход резцов на токарную обработку плунжера составляет не менее 5–6 шт. После каждой заточки обработка продолжается с возвратом резца назад на 30...50 мм, вследствие чего суммарная длина обработки плунжера увеличивается до 2000 мм вместо расчетного ее значения 1470 мм.

Таким образом, результаты анализа и исследования на рабочих местах технологии токарной обработки плунжеров на заводе «Тамбовполимермаш» показали следующее.

Трудоемкость токарной обработки наружной (рабочей) поверхности плунжеров на заводе на настоящее время составляет 10 – 11 ч. Точение плунжера сопровождается значительным расходом режущего инструмента, частыми перерывами, связанными с его заточкой, многократными возвращениями резца назад при возобновлении обработки, что существенно увеличивает долю непроизводительных затрат в структуре штучного времени токарной обработки.

Процесс обработки заготовок высокой твердости (более 50 единиц HRC) при значительной глубине резания сопровождается интенсивным нагревом режущей пластины резца, что значительно снижает ее стойкость.

Выводы.

Для изыскания путей повышения производительности и снижения материальных и энергетических затрат токарной обработки заготовок плунжеров из отбеленного чугуна необходимо провести исследования в следующих направлениях:

- 1) выбор оптимального инструментального материала;
- 2) выбор конструктивно-геометрических параметров инструментов;
- 3) оптимизация режимов резания при выполнении токарной обработки.

В ходе выполнения данной работы были проведены исследования по вышеперечисленным направлениям и разработаны рекомендации по повышению производительности и снижению затрат токарной обработки заготовок плунжеров. Внедрение результатов работы в производство позволило повысить производительность токарной обработки в 2,85 раза, что подтверждено актом приемочно – сдаточных испытаний на заводе «Тамбовполимермаш».

Результаты исследований будут опубликованы в последующей статье.

Список использованных источников

1. Металлорежущие станки : учебник для машиностроительных вузов / под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1985. – 256 с.
2. Фидаров, В. Х. Обработка заготовок деталей машин из труднообрабатываемых материалов. – Saarbrücken, Germany : LAPLAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 165 с.

3. Фидаров, В. Х. Токарная обработка крупногабаритных деталей из отбеленного чугуна. «Машиностроитель» / В. Х. Фидаров, В. И. Муратов, А. Н. Преображенский. – 1991. – № 10. – С. 11–12.

4. Фидаров, В. Х. Исследование и внедрение прогрессивных технологических процессов обработки деталей из отбеленного чугуна / В. Х. Фидаров, В. И. Муратов, А. Н. Преображенский. – Отчет № 01880010808, по х/д НИР, тема № 32/88. – Тамбов : ТИХМ, 1989.

References

1. Tutorial for metal-cutting machine tools engineering technical institutions / В. Е. Pushcha. – М. : mashinostroenie, 1985. – 256 p.

2. Fidarov, V. H. Machine parts machining of difficult materials. – Saarbrücken, Germany : LAP Academic LAMBTRT Publishing. – 2014. – 165 p.

3. Fidarov, V. H. Turning large parts of bleached pig iron. “The machinist” / V. H. Fidarov, V. I. Muratov, A. N. Preobrazhensky – 1991. – N 10. – P. 11–12.

4. Fidarov, V. H. Study and introduction of progressive technological processes of bleached pig iron machining / V. H. Fidarov, V. I. Muratov, A. N. Preobrazhensky, – Report No. 01880010808, x/d, topic № 32/88. – Tambov : TIHM, 1989.

УДК 66.083: 66.022
ББК Л1/7 35.71

Худяков В. В., Баронин Г. С., Дмитриев О. С.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ТВЕРДОФАЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ*

Khudyakov V. V., Baronin G. S., Dmitriev O. S.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

SOLID-PHASE TECHNOLOGY OF BLOCK PARTS PRODUCTION BASED ON FLUOROPOLYMER NANOCOMPOSITES

Аннотация. Представлено применение твердофазной технологии получения блочных изделий на основе фторполимерных нанокompозитов. Изучен механизм и оптимальное наполнение полимерной матрицы наночастицами.

Ключевые слова: твердофазные технологии, нанокompозиты, фторполимеры.

Abstract. The article represents the application of solid-phase technology of block parts production based on fluoropolymer nanocomposites. Mechanism and optimal filling of the polymer matrix with nanoparticles was studied.

Keywords: solid-phase technologies, nanocomposites, fluoropolymers.

Синтез полимерных композиционных материалов (ПКМ) на сегодняшний день является приоритетным направлением современного материаловедения. Одной из перспективных полимерных матриц для композитов является политетрафторэтилен (ПТФЭ), обладающий рядом уникальных свойств – химической и термической стойкостью, гидрофобностью, низким коэффициентом трения, нерастворимостью и высокой вязкостью расплава, что не позволяет применить для него жидкофазную технологию. Поэтому для создания композитов на основе ПТФЭ возникла необходимость в разработке специальных технологических методов, позволяющих получать материалы с наноразмерными наполнителями [1]. Один из них состоит в обработке смеси ультрадисперсных порошков ПТФЭ и неорганических веществ в планетарной мельнице. Таким образом, получают неорганические частицы, размер которых не превышает несколько десятков микрон. Кроме того, эти частицы капсулируются фторполимерной основой, с толщиной покрытия единицы микрон.

Наиболее привлекательными для наполнения ПКМ являются наночастицы кобальта. По этой причине в качестве модификатора был использован кобальт фторполимер

* Работа выполнена в рамках базовой части госзадания Минобрнауки РФ № 2014/219, код проекта 2079.

КоФП – дисперсный наполнитель на основе политетрафторэтилена и наночастиц кобальта, имеющий сложное структурное строение. Использование такого материала в качестве наполнителя оказывает влияние на физические и термические свойства блочного материала и позволяет получать нанокомпозит на основе политетрафторэтилена с определенным набором свойств. Для определения количественного состава были проведены исследования теплофизических (теплоемкости и теплопроводности) и триботехнических свойств в зависимости от коэффициента наполнения нанокомпозита [2].

На основе теплофизических и триботехнических исследований энергетического состояния блочного комбинированного нанокомпозита на основе ПТФЭ было сделано заключение, что дисперсный наполнитель КоФП в концентрации до 0,1 массовых частей (м. ч.) резко повышает взаимодействие в граничном слое полимер-наполнитель, делает структуру более жесткой за счет образования большого количества связей между полимерной матрицей и активными участками поверхности наноразмерного наполнителя.

Экстремальные концентрационные зависимости теплофизических свойств комбинированного фторполимерного нанокомпозита говорят о сложном строении полимерной системы Ф-4+КоФП (как однофазном, так и двухфазным). Наличие экстремума в области малых концентраций модификатора и тенденция изменения теплофизических свойств полимерного нанокомпозита позволяют сделать вывод о переходе системы из однофазной в двухфазную (спинодальный распад) и наоборот. Точка экстремума указывает на метастабильное состояние, где отмечается наиболее равномерное распределение модификатора в полимерной матрице и, следовательно, наивысшая гомогенность системы. Следует отметить, что похожие физические механизмы формирования структуры отмечены нами для полимерных смесей и сплавов, компоненты которых находятся в наноструктурированном состоянии. При переходе системы из однофазной к двухфазной (расслаивание) выделяющаяся фаза находится в высокодисперсном состоянии и образует термодинамически устойчивую систему с размером частиц не выше нескольких десятков нанометров. Межфазный слой в такой полимерной системе в силу близости к критическим условиям имеет значительную толщину, а межфазная поверхность велика. Высокорастворимая поверхность раздела фаз и наличие частиц нанометрового размера и приводит к экстремальному изменению теплофизических свойств полимерной системы в данной концентрационной области, т.е. являются определяющими факторами. Разница в энергетическом состоянии комбинированного нанокомпозита, в сравнении с исходным ПТФЭ обусловлена изменением всего комплекса показателей системы: снижение теплопроводности и снижение теплоемкости [3].

Таким образом, применение в качестве добавки полимерного нанокомпозита на основе ультрадисперсного ПТФЭ и кобальтсодержащих наночастиц дает возможность регулирования структуры и свойств полимерных композитов и создавать материалы с требуемыми физико-химическими характеристиками.

Для промышленного применения целесообразны массивные изделия из этих ПКМ, получаемые по твердофазной технологии и обладающие определенными физико-механическими показателями, поскольку твердофазная технология получения блочных изделий на основе фторполимеров является энергосберегающей и безотходной по сравнению с другими способами получения изделий из фторопластов.

Суть получения блочных изделий по этой технологии включает следующие операции. Сначала получают заготовку для твердофазной объемной штамповки из фторопла-

ста-4 и КоФП. Предварительно нанокompозит подготавливается в электромагнитном смесителе, затем на механоактиваторе, в котором происходит смешение матрицы полимерного композита с модификатором, после чего проводится холодное прессование с дальнейшим спеканием. Прессование осуществляется на гидравлическом прессе, рассчитанном на давление до 35 МПа. После этого заготовка нанокompозита извлекается из пресс-формы и помещается в печь для спекания. Сначала заготовка выдерживается в течение 1 ч при температуре, не превышающей 90 °С. Затем температуру медленно повышают со скоростью 10...25 °С/ч. Спекание осуществляется при температуре 370...382 °С в течение трех часов. Для получения качественных изделий из нанокompозита необходимо соблюдать режимы охлаждения. Рекомендуется поддерживать скорость охлаждения в пределах 8 – 14 °С/ч при охлаждении расплава до 200 °С и 50 °С/ч – при температуре ниже 200 °С. В завершении процесса заготовка нанокompозита извлекается из печи при температуре не выше 90 °С.

Последней стадией получения изделия является объемная твердофазная штамповка полученной на первом этапе заготовки нанокompозита. Штамповка осуществляется при температуре, равной 80% от температуры плавления материала фторполимерного нанокompозита.

Таким образом, разработана технология получения блочных изделий на основе фторполимерного композиционного материала с улучшенными теплофизическими, триботехническими и другими свойствами. Полученные изделия из фторполимерных нанокompозитов могут применяться в электротехнической и радиотехнической промышленности, машиностроении.

Список использованных источников

1. Баронин, Г. С. Переработка полимеров в твердой фазе: физико-химические основы / Г. С. Баронин, М. Л. Кербер, Е. В. Минкин, Ю. М. Радько. – М. : Машиностроение-1, 2002. – 320 с.
2. Poluektov, V. L. Features of combined solid-phase extrusion technology, structure and property formation of fluoropolymer-based nanocomposites / V. L. Poluektov, V. V. Khudyakov, G. S. Baronin, V. M. Buznik. *Advanced Materials and Technologies*. – 2016. – N 1. С. 56 – 60.
3. Баронин, Г. С. Исследование строения и свойств полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и наночастиц кобальта / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, Г. Ю. Юрков и др. // *Перспективные материалы*. – 2014. – № 7. – С. 50 – 61.

References

1. Baronin, G. S. Solid-phase polymer processing: physico-chemical basics / G. S. Baronin, M. L. Kerber, E. V. Minkin, Yu. M. Radko. – M. : Mashinostroenie-1, 2002. – 320 p.
2. Poluektov, V. L. Features of combined solid-phase extrusion technology, structure and property formation of fluoropolymer-based nanocomposites / V. L. Poluektov, V. V. Khudyakov, G. S. Baronin, V. M. Buznik. *Advanced Materials and Technologies*. – 2016. – N 1. P. 56 – 60.
3. Baronin, G. S. The study of the structure and properties of polymer composites based on polytetrafluoroethylene and cobalt nanoparticles / G. S. Baronin, V. M. Buznik, G. Yu. Yurkov et al. // *Perspective materials*. – 2014. – N 7 – P. 50 – 61.

УДК 621(075)
ББК К5я73

Фидаров В. Х.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ИЗ ОТБЕЛЕННОГО ЧУГУНА**

Fidarov V. H.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

**INCREASING PRODUCTIVITY AND REDUCING THE COST OF MECHANICAL
MACHINING OF MACHINE COMPONENTS OF BLEACHED PIG IRON**

Аннотация. Выполнены исследования и разработаны рекомендации по повышению производительности и снижению затрат токарной обработки заготовок деталей машин из отбеленного чугуна.

Ключевые слова: токарная обработка, отбеленный чугун, производительность, затраты.

Abstract. Studies and recommendations on increasing productivity and reducing the cost of turning machining of machine components of bleached pig iron.

Keywords: turning, bleached pig iron, productivity, costs.

Заготовки деталей машин из отбеленного чугуна трудно поддаются механической обработке резанием лезвийным инструментом и поэтому их приходится обрабатывать при пониженных режимах резания, малой производительности, большом расходе дорогостоящего инструментального материала из-за интенсивного их износа и затрат времени на частую переточку инструмента.

В связи с этим актуальной для машиностроения является задача повышения производительности труда и снижения затрат при обработке заготовок деталей машин из таких материалов.

Для повышения обрабатываемости резанием заготовок деталей машин из труднообрабатываемых материалов и повышения производительности обработки в машиностроении разработаны ряд способов [1].

Однако все эти методы по сравнению с лезвийной обработкой связаны или с повышенными энергозатратами (предварительный подогрев заготовок, электрофизические и электрофизические методы) и малой производительностью или же изменяют структурное состояние поверхностного слоя обработанной детали, что в ряде случаев совершенно недопустимо (например при обработке плунжеров гидроцилиндров вулка-

низационных прессов из отбеленного чугуна – поверхность плунжера должна оставаться отбеленной для износостойкости).

В связи с этим в данной работе исследования по изысканию путей повышения производительности проводились при токарной обработке точением заготовок плунжеров гидроцилиндров вулканизационных прессов из серого чугуна СЧ20 с отбеленным поверхностным слоем в производственных условиях завода «Гамбов-полимермаш».

Исследование существующей технологии токарной обработки плунжеров на заводе показало следующее.

Черновое точение поверхности плунжера осуществляется с диаметра 340 мм до диаметра 330 мм за 3 прохода на следующих режимах: $t = 2...4$ мм; $S = 1,43...2,04$ мм/об; $V = 5,3$ м/мин, где t – глубина резания, мм; S – скорость подачи, мм/мин; V – скорость резания, м/мин.

Чистовая обточка поверхности плунжера осуществляется с диаметра 330 мм до диаметра 321,5 h12 мм за 3 прохода на тех же, что и при черновой обработке режимах резания. На чистовом (последнем) проходе иногда применяют следующий режим обработки: $t = 0,5$ мм; $S = 1,32$ мм/об ; $V = 22,8$ м/мин.

При обработке возникают значительные силы резания из-за высокой твердости заготовки, что ведет к повышенному нагреву режущей пластины резца, ее интенсивному износу и необходимости в частых переточках резца или же замене резца на новый.

Вид износа резцов преимущественно абразивный с образованием на гранях больших площадок износа. Иногда износ резцов сопровождается сколом режущих кромок инструмента. Особенно тяжелым с этой точки зрения представляет точение плунжера по корке.

Число установок резца, связанных с их переточкой и заменой, на I проходе составляет от 4 до 8, а общее число установок за всю токарную обработку плунжера составляет не менее 18 – 20. Это значительно увеличивает долю непроизводительных затрат в структуре штучного времени токарной обработки. Допустимое число переточек резца до полного его износа составляет не более 3 – 5, т.е. расход резцов на токарную обработку плунжера составляет не менее 5–6 штук. После каждой заточки обработка продолжается с возвратом резца назад на 30...50 мм, вследствие чего суммарная длина обработки плунжера увеличивается до 2000 мм вместо расчетного ее значения 1470 мм.

Таким образом, результаты анализа и исследования на рабочих местах технологии токарной обработки плунжеров на заводе «Гамбовполимермаш» показали следующее.

Трудоемкость токарной обработки наружной (рабочей) поверхности плунжеров на заводе на настоящее время составляет 10–11 ч. Точение плунжера сопровождается значительным расходом режущего инструмента, частыми перерывами, связанными с его заточкой, многократными возвращениями резца назад при возобновлении обработки, что существенно увеличивает долю непроизводительных затрат в структуре штучного времени токарной обработки.

Процесс обработки заготовок высокой твердости (более 50 единиц HRC) при значительной глубине резания сопровождается интенсивным нагревом режущей пластины резца, что значительно снижает ее стойкость.

Для изыскания путей повышения производительности и снижения материальных и энергетических затрат токарной обработки заготовок плунжеров из отбеленного чугуна исследования проводились в следующих направлениях:

- 1) выбор оптимального инструментального материала;
- 2) выбор конструктивно-геометрических параметров инструментов;
- 3) оптимизация режимов резания при выполнении токарной обработки.

Выбор инструментального материала.

Важнейшим фактором принятия решений о качестве режущего инструмента, области применения инструментальных материалов и конструкций инструмента, а также оптимальности условий его эксплуатации является стойкость.

Отбор марок инструментальных материалов производился на основании анализа технологических процессов и опыта обработки отбеленного чугуна и труднообрабатываемых материалов на отечественных машиностроительных заводах, проведения патентных исследований и предварительных испытаний. Для испытания отбирались инструменты:

- 1) из твердых сплавов: на вольфрамовой основе – тип ВК; серии МС; сплавы типа ВП – для предварительного обтачивания по корке и получистового точения;
- 2) из минералокерамики: оксидно-карбидной группы (ВОК60, ВОК63, 53; ВОК-71); оксидно-нитридной группы (кортинит ОНТ-20) – для получистового и чистового обтачивания;
- 3) сверхтвердые материалы – композиты: (композит 10, 10Д, композит 05; композит 01) – для получистового и чистового точения.

Все инструментальные материалы использовались в виде механически закрепляемых пластин. Для испытания использовались резцы оригинальной конструкции, разработанные в лаборатории «Технология машиностроения» ТГТУ (Тамбовский государственный технический университет).

Поскольку заготовки из отбеленного чугуна обладают высокой твердостью то при резании с большими скоростями подачи и глубиной резания возникают значительные силы резания и высокие температуры в зоне резания, что ведет к снижению режущих свойств резцов, повышенному их износу и к выкрашиванию режущих пластин. Чтобы избежать этого приходится обработку вести при пониженных режимах резания, т.е. снижать производительность. Кроме того, применение резцов с напайными пластинами по заводской технологии имеет тот недостаток, что при напайке на режущих пластинах могут образоваться микротрещины, что ведет к их выкрашиванию при обработке. Применение же стандартных резцов с механическим креплением и неперетачиваемыми пластинами не обеспечивает оптимальных геометрических параметров резца.

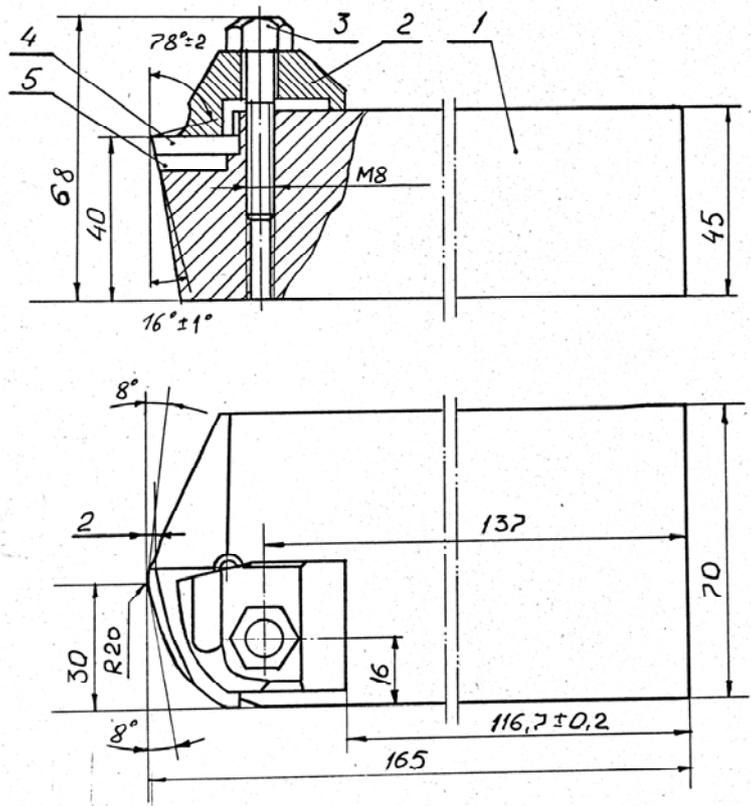


Рис. 1. Конструкция резца с одной режущей пластиной:
 1 – корпус; 2 – двулучий прижим; 3 – винт; 4 – режущая пластина; 5 – подложка

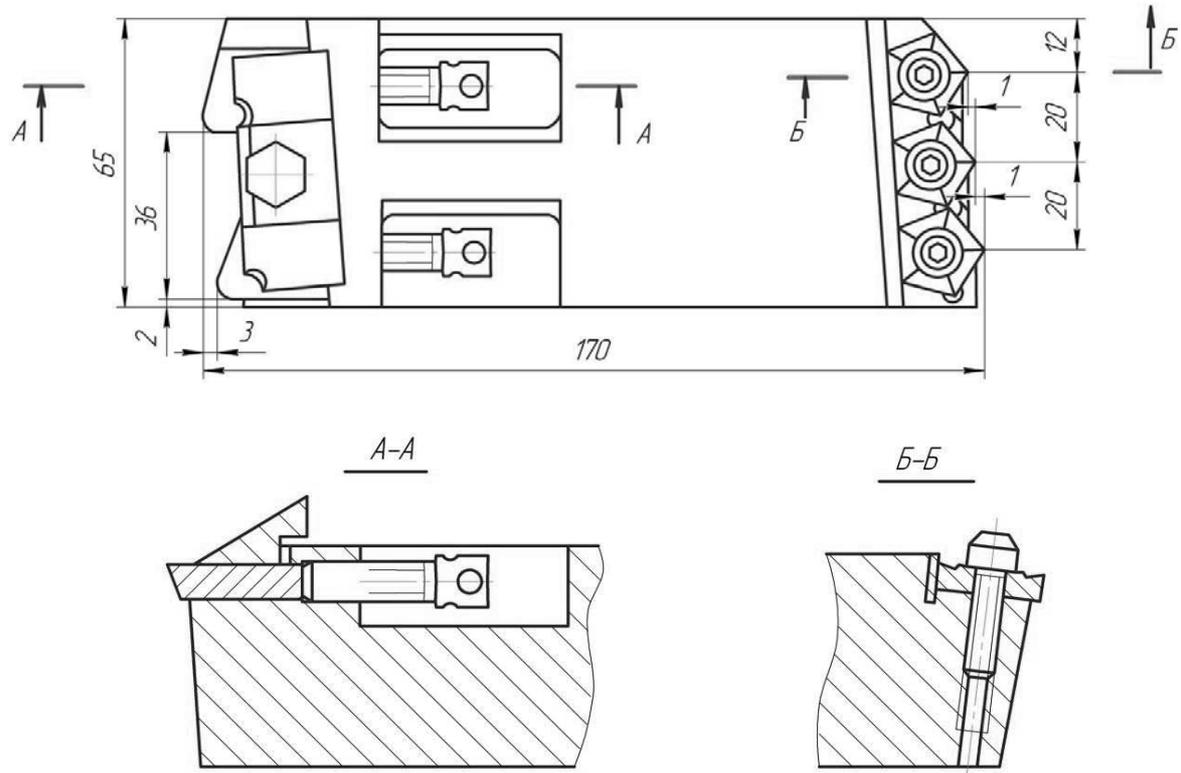


Рис. 2. Конструкция комбинированного резца



Рис. 3. Конструкция резца с регулируемым вылетом режущей пластины:
 1 – винт для регулировки вылета режущей пластины; 2 – режущая пластина;
 3 – винт прижима; 4 – прижимная планка; 5 – корпус резца

Для повышения производительности были разработаны конструкции специальных резцов с механическим креплением режущих пластин. Для лучшего отвода тепла от режущих пластин резцы выполнены массивными по сравнению со стандартными. С целью экономии металла державки некоторых резцов использовались с двух концов для создания разных конструкций резцов. Закрепляя державку в резцедержателе станка соответствующим образом, можно вводить в работу ту или иную конструкцию резца.

В качестве материала режущей части резцов используются твердые сплавы ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, МС321, МС3210, МС318, ВП3325, ТТ7К8, Т7К8, пластины из минералокерамики ВОК60, ВОК71, кортинит; пластины из сверхтвердых материалов: композит 01, композит 05, композит 10Д. Некоторые, разработанные в ходе выполнения исследований конструкции резцов представлены на рис. 1, 2, 3.

Экспериментальные исследования проводились в реальном производстве при различных режимах резания, с использованием различных инструментальных материалов как стандартными, так и специальными конструкциями резцов, разработанными в ходе выполнения работы.

На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы и даны рекомендации.

1. Эффективность токарной обработки плунжеров пластинами из сплава ВК8, Т8К7ВП оказалась невысокой. Пластины из сплавов ВКВ, Т8К7 интенсивно изнашивались по задней поверхности; пластины из сплава ВП оказались недостаточно прочными и разрушались.

2. Удовлетворительную работоспособность при обточке плунжеров показали пластины из сплава VC28. Резцы, оснащенные пластинами из VC28, можно рекомендовать для обточки плунжеров по корке, для полустогового и чистового обтачивания. Производительность токарной обработки поверхности детали при режимах обработки: $V = 9,5 \dots 16$ м/мин; $S = 2,04 \dots 2,85$ мм/об; $t = 1,5 \dots 2,5$ мм увеличивается более 2-х раз по сравнению с заводской технологией.

3. Применение специальных резцов конструкции ТГТУ с механическим креплением пластин из сплава ВК60М для обточки плунжеров обеспечивают повышение произ-

водительности обработки в 2,85 раза, что подтверждено актом приемочно – сдаточных испытаний на заводе «Тамбовполимермаш».

4. Для обработки плунжеров рекомендуются следующие режимы обработки:

- для черновых проходов: $n = 11 \text{ мин}^{-1}$; $S = 3 \text{ мм/об}$; $t = 2$ и более мм;
- получистовой проход: $n = 16 \text{ мин}^{-1}$; $S = 2,5 \text{ мм/об}$; $t = 2$ мм;
- чистовые проходы: $n = 19 \text{ мин}^{-1}$; $S = 5 \text{ мм/об}$; $t = 0,5 \dots 1$ мм.

5. Разработанный технологический процесс токарной обработки плунжеров резцами с механическим креплением пластин из сплава ВК6-ОМ можно рекомендовать к внедрению на заводе «Тамбовполимермаш».

Список использованных источников

1. Фидаров В. Х. Обработка заготовок деталей машин из труднообрабатываемых материалов. – Saarbrücken, Germany : LAP LAMBTRT Academic Publishing, 2014. – 165 с.

2. Фидаров, В. Х. Токарная обработка крупногабаритных деталей из отбеленного чугуна. «Машиностроитель» / В. Х. Фидаров, В. И. Муратов, А. Н. Преображенский. – 1991. – № 10. – С. 11–12.

3. Фидаров, В. Х. Исследование и внедрение прогрессивных технологических процессов обработки деталей из отбеленного чугуна / В. Х. Фидаров, В. И. Муратов, А. Н. Преображенский. – Отчет № 01880010808, пох/дНИР, тема № 32/88. – Тамбов, ТИХМ, 1989.

References

1. Fidarov, V. H. Machine parts machining of difficult materials. – Saarbrücken, Germany : LAP Academic LAMBTRT Publishing, 2014. – 165 p.

2. Fidarov, V. H. Turning large parts of bleached pig iron. “The machinist” / V. H. Fidarov, V. I. Muratov, A. N. Preobrazhensky. – 1991. – N 10. – P. 11–12.

3. Fidarov, V. H. Study and introduction of progressive technological processes of bleached pig iron machining / V. H. Fidarov, V. I. Muratov, A. N. Preobrazhensky. – Report N 01880010808, x/d, topic N 32/88. – Tambov, TIHM, 1989.

Аль-Саади Д. А. Ю.¹, Першин В. Ф.¹, Салимов Б. Н.²

¹ Тамбовский государственный технический университет,
(Россия, г. Тамбов),

² Западно-казахстанский аграрно-технический университет им. Жангирхана,
(Казахстан, г. Уральск)

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНОСОДЕРЖАЩИХ СМАЗОК В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ*

Al-Saadi D. A. Y.¹, Pershin V. F.¹, Salimov B. N.²

¹ Tambov State Technical University
(Russia, Tambov),

² West Kazakhstan Agrarian Technical University named after Zhangir khan
(Kazakhstan, Uralsk)

OBTAINING A GRAPHITE LUBRICANT IN A PLANETARY MILL

Аннотация. Проведен анализ возможностей механоактивации графитных смазок в высокоскоростных планетарных мельницах. Дана характеристика основных режимов движения мелящих шаров и материала в поперечном сечении помольного барабана, совершающего планетарное движение. Приведены результаты экспериментальных исследований режимов движения и отмечена аналогия этих режимов с режимами движения шаров и материала в шаровых мельницах. Основное внимание уделено характеру воздействия мелящих шаров на материал, подвергающийся механоактивации. Рассмотрены условия создания больших сдвиговых напряжений в зонах контакта материала с мелящими шарами. Проведены эксперименты по механоактивации графитных смазок при разных режимах. Определены основные характеристики механоактивированных смазок, а также влияние этих смазок на трение при скольжении двух проскоостей. Установлено, что коэффициенты трения при использовании механоактивированных смазок на 20 – 30% ниже, чем у традиционных.

Ключевые слова: режимы движения, сдвиг, коэффициенты трения, графеновые наноструктуры.

Abstract. To analyze the possibility of mechanical activation of graphite lubricant in high-speed planetary mill. The characteristic of the main modes of the movement the melyashchikh of spheres and material in the cross section of a grinding drum which makes the planetary movement is given.

Results of pilot studies of the modes of the movement are given and the analogy of these modes to the modes of the movement of spheres and material in spherical mills is noted.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-38-50829 мол_нр.

The main attention is paid to nature of impact of spheres on the material which is exposed to mechanoactivation. Conditions of creation of big shift tension in zones of contact of material with spheres are considered. Experiments on mechanoactivation of graphitic greasings at the different modes are made. The main characteristics of the mechanoactivated greasings, and also influence of these greasings on friction when sliding two proskost are defined. It is established that friction koeffiiyenta when using of the mechanoactivated greasings are 20 – 30% lower, than at the traditional.

Keywords: typeofmovement, shift, coefficientsoffriction, graphenenanostructures.

Введение. Одной из основных проблем в эксплуатации машин и механизмов является разрушительное для них механическое трение. Трение рассматривается как сила сопротивления относительно движению соприкасающихся тел при трогании с места, скольжении или качении. Наиболее очевидное решение проблемы – это использование лубрикантов, т.е. технических смазок. Чаще всего в качестве таковых применяются графит и дисульфид молибдена. Однако у обоих есть недостатки. Так, графит работает как смазка только во влажных средах, а дисульфид молибдена только в сухих. Помимо этого, для того чтобы выдержать 1000 циклов трения, требуется не менее 1000 одноатомных слоев каждого из материалов. В работе [1] показано, что двумерный монослой атомов углерода – графен – способен выдержать не меньше 6400 циклов трения между стальным шаром и пластиной вне зависимости от условий среды. А графен, уложенный в три-четыре слоя, может выдержать уже 47 000 циклов трения. Это значительный прирост в надежности при общем сокращении стоимости лубриканта. Столь высокую износостойкость графену обеспечивает не только его особая структура, но и свободные атомы водорода, осуществляющие пассивацию разрушаемых в ходе трения слоев. Тем самым они создают своего рода «заплатки» в разорванных областях. Основным фактором сдерживающим применение графена является отсутствие промышленных технологий и, как следствие, высокая его стоимость.

В настоящее время на практике широко применяют графитовую смазку в рессорах, торсионных подвесках гусеничных машин, в открытых шестернях, для пуска и приработки трущихся поверхностей двигателей внутреннего сгорания (поршней и цилиндров), в различных гидроустановках, при эксплуатации канатов, для смазывания муфт больших размеров, работающих в тяжелых режимах и т.д. Особый интерес представляет тот факт, что коллоидальный графит в присутствии масла в результате адсорбции образует на трущихся поверхностях пленку, проникает и удерживается даже в мельчайших неровностях и порах металла.

Известно [2], что в открытых трибосистемах могут возникать стационарные неравновесные состояния с высокой степенью организованности. Узлы трения полностью подпадают под такое определение, поэтому возможно создание безызносного узла трения.

При трении происходят три взаимовлияющих процесса: взаимодействие поверхностей; изменение свойств поверхностей в результате взаимодействия и влияния окружающей среды; разрушение поверхностей вследствие 2-х предыдущих процессов.

Физико-механические параметры поверхностного слоя, его структура и напряженное состояние, как правило, сильно отличаются от свойств всего объема материала, по-

скольку у атомов поверхностного слоя остаются свободные связи, которые создают несимметричное силовое поле. Обнаружены исключительно высокая диффузионная подвижность атомов поверхностного слоя $0,1 \dots 0,3$ мкм и реакционная способность материалов контактируемых при влиянии давления и деформации сдвига пар, и как следствие возможность модифицирования поверхностей вплоть до создания новых соединений и равновесных твердых растворов [1].

Механоактивация графитовой смазки в планетарной мельнице. Возможность получения графена из графита в планетарной мельнице подтверждена экспериментально [3 – 6], поэтому механоактивацию графитовой смазки осуществляли на лабораторной планетарной мельнице с независимыми приводами вращения водила (переносное движение относительно центральной оси) и помольных барабанов (относительное движение) [7]. Диаметр помольных барабанов 120 мм, скорость вращения водила от 100 до 1100 мин⁻¹, а скорость вращения помольных барабанов относительно собственных осей от 10 до 400 мин⁻¹. Размеры установки и диапазоны изменения указанных скоростей вращения позволяли организовать движение мелящих шаров в режимах, наиболее эффективных для механоактивации, а именно: режим периодических обрушений; циркуляционный режим. Именно при этих режимах максимально развиты зоны, в которых происходит сдвиг мелящих шаров относительно друг друга, а в частицах, которые попали между шарами, возникают касательные напряжения.

В помольные барабаны загружали мелящие шары (50...100 г) и графитовую смазку (5...25 г), закрывали барабаны, включали приводы вращения и обрабатывали исходный материал в течении определенного времени (10...120 мин). После механоактивации выгружали шары и материал, отделяли материал от шаров и определяли структуру и свойства полученного продукта. В качестве примера на рис. 1 представлены фотоснимки стандартной графитовой смазки (рис. 1, а) и обработанной в планетарной мельнице (рис. 1, б).

В образцы с исходной и механоактивированной смазкой добавляли органический растворитель и обрабатывали на лабораторной центрифуге. Осаждение частиц графита в образцах с исходной смазкой заканчивалось менее, чем за 5 мин, а с механоактивированной смазкой, полное осаждение не наблюдалось даже после обработки в течение 60 мин.

Данный факт дает основание предположить, что смазке образуются очень мелкие, в том числе, наноразмерные, т.е. графеновые частицы.

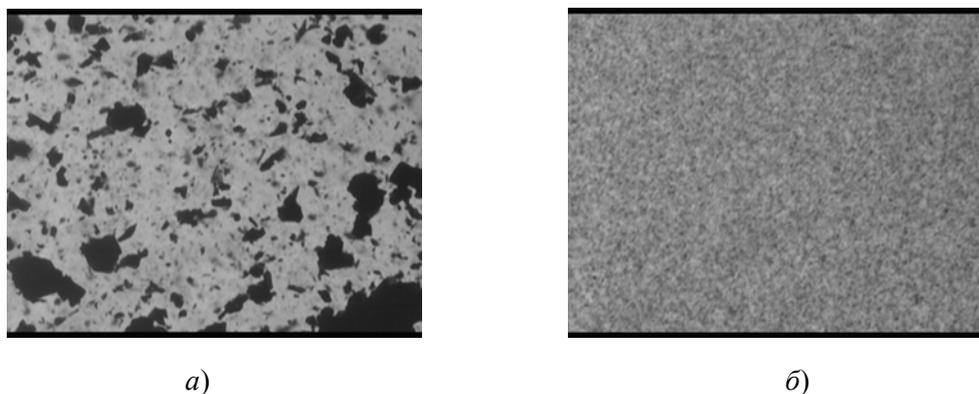


Рис. 1. Фотоснимки исходной графитовой смазки (а) и механоактивированной (б)

Экспериментальное определение коэффициентов трения скольжения. Исследования проводили на универсальной машине трения УМТ-01 (см. рис. 2), которая создана на базе сверлильного станка 1 и предназначена для проведения испытаний на трение и износ металлических и неметаллических материалов в условиях применения различных смазочных материалов, а также без масла. Метод испытаний основан на взаимном перемещении прижатых друг к другу с заданным усилием испытываемых образцов 2 и 3 в среде смазочных материалов или без них. Скорость вращения образца без нагрузки, плавно регулируется от 0 до 2500 мин⁻¹, усилие прижима испытываемых образцов, от 50 до 1000 Н. Размер образцов: неподвижная круглая пластина диаметром 50 мм, три вращающиеся ролика диаметром 10 мм. Схема контакта: торец вращающегося ролика и плоскости неподвижного диска. Момент трения и осевая нагрузка регистрируется тензодатчиками. В результате предварительных испытаний было установлено, что сила прижатия образцов неконтролируемо изменяется в диапазоне $\pm 15\%$, а погрешность тензодатчика, с помощью которого фиксировалась окружная сила и рассчитывался момент трения, составляла $\pm 10\%$. Кроме этого, наблюдалось образование волны перед набегающим роликом, что приводило к удалению смазочного материала из зоны контакты образцов. Аналогичные результаты получены на машинах трения других типов [8]. Для устранения указанных недостатков были внесены некоторые изменения в конструкцию машины. В частности, устройство для закрепления неподвижной круглой пластины 3, через упорный подшипник 4 было установлено на весы 5 с пределом измерения 15 000 г и погрешностью $\pm 0,1$ г, что позволило точно фиксировать усилие прижатия элементов пары трения.

Усилие G , создаваемое крутящим моментом трения M нитью 6 через блок 7 передавалось на гири 8, установленную на весы 9 с точность измерения 0,001г. Численное значение силы G , определяется, как разность веса гири 8 и текущего показания весов.

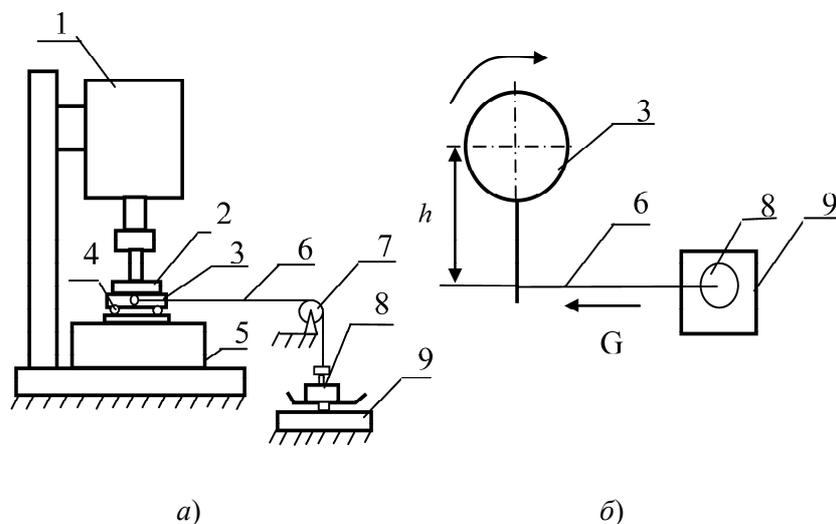


Рис. 2. Схема усовершенствованной машины трения УМТ-01

Было установлено, что при скольжении трех стандартных роликов происходит неконтролируемое удаление части смазки из зоны контакта пар трения. Для устранения данного недостатка использовали вращающиеся стальные кольца с наружным диаметром 40 мм и внутренними диаметрами: 10, 20 и 30 мм.

Момент трения M рассчитывался по формуле $M = Gh$, где h – плечо силы G (см рис. 1, б).

С другой стороны момент трения равен:

$$M = \int_A \tau \rho dA, \quad (1)$$

где τ – касательные напряжения, действующие в зоне контакта элементов пары трения; ρ – текущий радиус, который может изменяться от внутреннего радиуса R_1 кольца, до наружного – R_2 ; A – область интегрирования (площадь кольца).

Если, в качестве элементарной площади dA взять кольцо радиусом ρ и толщиной $d\rho$, то подставив в формулу (1) получим:

$$M = \int_{R_1}^{R_2} 2\pi\tau\rho^2 d\rho = 2\pi\tau \int_{R_1}^{R_2} \rho^2 d\rho = 2\pi\tau \frac{R_2^3 - R_1^3}{3}. \quad (2)$$

Приравняв (1) и (2) получим

$$\tau = \frac{3Gh}{2\pi(R_2^3 - R_1^3)}. \quad (3)$$

Численное значение коэффициента скольжения f определим следующим образом:

$$f = \tau / \sigma, \quad (4)$$

где $\sigma = P/A$ – нормальные напряжения в зоне контакта элементов пары трения; A – площадь контакта.

Обсуждение результатов. Среднее значение коэффициента трения скольжения при использовании стандартной графитовой смазки равен 0,158, а при использовании механоактивированной – 0,069. Таким образом, в результате механоактивации коэффициент трения уменьшился в 2,3 раза. При изменении скорости вращения верхнего звена пары трения от 500 до 2500 мин⁻¹ коэффициент трения скольжения уменьшался в 2,2 – 2,5 раза, однако зависимости коэффициента трения от скорости не наблюдалось.

Заключение. Предложен метод механоактивации графитовых смазок в высокоскоростной планетарной мельнице. Метод позволяет получать смазку, которая в 2,2 – 2,5 раза снижает коэффициент трения скольжения, по сравнению со стандартной графитовой смазкой. Вполне возможно, что снижение значения коэффициента трения происходит в результате образования в графитной смазке графеновых наноструктур. В дальнейшем целесообразно провести исследования износа пар трения.

Список использованных источников

1. D. Berman¹, S. A. Deshmukh Extraordinary Macroscale Wear Resistance of One Atom Thick Graphene Layer / *Advanced Functional Materials*. – 2014. – V. 24. – Is. 42 – P. 6640 – 6646.
2. Стародубов, А. Г. Космонавтика, трибология и новые материалы: фуллерены и интеркаляты (перспективы использования) // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2011. – Т. 13 – № 4(3).
3. Liu, L. Production of high quality single- or few-layered graphene by solid exfoliation of graphite in the presence of ammonia borane / Liu L., Xiong Zh., Hu D. et al. // *Chem. Commun.* – 2013. – V. 49. – P. 7890.
4. Knieke, C. Scalable production of graphene sheets by mechanical delamination / C. Knieke, A. Berger, M. Voigt et al. // *Carbon*. – 2010. – V. 48. – P. 3196 – 3204.
5. Nandhini, R. Supercapacitor electrodes using nanoscale activated carbon from graphite by ball milling / R. Nandhini, P. A. Mini, B. Avinash et al. // *Materials Letters*. – 2012. – V. 87. – P. 165 – 168.
6. Jeon, I.-Y. Edge-carboxylated graphene nanosheets via ball milling / I.-Y. Jeon, Y.-R. Shin, G.-J. Sohn et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2012. – V. 109. – P. 5588 – 5593.
7. Пат. РФ № 83433. Планетарная мельница Планетарная мельница / Першин В. Ф., Першина С. В., Артемов В. Н., Ткачев А. Г., Ткачев А. М. // 2009. – Бюл. – № 16.

References

1. D. Berman¹, S. A. Deshmukh Extraordinary Macroscale Wear Resistance of One Atom Thick Graphene Layer / *Advanced Functional Materials*. – 2014. – V. 24. – Is. 42 – P. 6640 – 6646.
2. Starodubov, A. G. Kosmonavtika, tribology and new materials: fullerenes and intercalates (perspectives of using) // *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. – 2011. – Т. 13. – N 4(3).
3. Liu, L. Production of high quality single- or few-layered graphene by solid exfoliation of graphite in the presence of ammonia borane / Liu L., Xiong Zh., Hu D. et al. // *Chem. Commun.* – 2013. – V. 49. – P. 7890.
4. Knieke, C. Scalable production of graphene sheets by mechanical delamination / C. Knieke, A. Berger, M. Voigt et al. // *Carbon*. – 2010. – V. 48. – P. 3196 – 3204.
5. Nandhini, R. Supercapacitor electrodes using nanoscale activated carbon from graphite by ball milling / R. Nandhini, P. A. Mini, B. Avinash et al. // *Materials Letters*. – 2012. – V. 87. – P. 165 – 168.
6. Jeon, I.-Y. Edge-carboxylated graphene nanosheets via ball milling / I.-Y. Jeon, Y.-R. Shin, G.-J. Sohn et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2012. – V. 109. – P. 5588 – 5593.
7. Pat. RF № 83433. Planetary Mill Planetary Mill / Pershin V. F., Pershina S. V., Artemov V. N., Tkachev A. G., Tkachev A. M. // 2009. – Bul. – N 16.

УДК.636.4.084
ББК 40.715

Ведищев С. М., Завражнов А. И., Балахонова Д. Н.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

КОЭФФИЦИЕНТ БОКОВОГО РАСПОРА

Vedishchev S. M., Zavrazhnov A. I., Balachonova D. N.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

THE LATERAL THRUST COEFFICIENT

Аннотация. Предложена установка и описана методика для исследования коэффициента бокового распора в ячейке барабанного дозатора. Усилие трения корма о торцевую стенку дозатора в зоне загрузки зависит от высоты слоя корма в бункере, коэффициентов бокового распора и трения корма о стенку дозатора. Коэффициент бокового давления находили по отношению нормального давления к боковому. Исследования коэффициента бокового давления проводили на сухом рассыпном комбикорме и влажной мешанке.

Ключевые слова: барабан, давление, корм, коэффициент бокового распора, установка, ячейка.

Abstract. The authors proposed a device and described the methodology for the study of the coefficient of lateral thrust in the cell drum dispenser. The energy cost of the drive drum dispenser is made up of costs in the areas of loading, transporting, unloading and waiting, with the highest value of the loading area when filling the cells with feed. The coefficient of lateral pressure was calculated as ratio of normal pressure to the side pressure. The studies of the lateral pressure coefficient were carried out on dry skirmishing compound feed and wet mash.

Keywords: drum; pressure, feed, lateral thrust coefficient, installation, cell.

Введение. На эффективное использование в технологических линиях дозаторов и распределителей сыпучих материалов оказывают влияние размерные (расходные) характеристики, конструктивные особенности, варианты размещения в пространстве, виды и свойства сыпучих материалов, условия компоновки и привязки к основному технологическому оборудованию, конструктивные особенности, определяющие технологии изготовления и виды используемых материалов (комплектующих) [3, 5].

Объект и методы исследований. В общей структуре затраты энергии на процесс дозирования кормов являются существенными. Они складываются из затрат в зоне загрузки, транспортирования, выгрузки и ожидания, из которых наибольшая величина приходится на затраты мощности в зоне загрузки [1, 3].

Корм, поступающий из бункера в дозатор, заполняет ячейку и прижимается к торцевой стенке барабанного дозатора [1, 3]. Величина давления на торцевую стенку определяется коэффициентом бокового распора и является одним из факторов, влияющим

на энергоемкость дозатора. Момент сил трения, приведенный к валу барабанного дозатора, в поверхности раздела дозируемый материал – торцевая стенка дозатора зависит от вертикального усилия высоты слоя материала в бункере, коэффициента бокового распора и коэффициента трения о стенку дозатора. Величина коэффициента бокового давления зависит от гранулометрического состава, плотности, влажности дозируемого материала. Поэтому получить аналитические зависимости, описывающие взаимосвязь этих параметров не всегда возможно [4, 5].

Для экспериментального исследования коэффициента бокового распора была разработана установка (рис. 1). Она состоит из вала 9 с дисками трения 6 и 8, между которыми установлена фрикционная шайба 7. В стенке бункера 2 установлен съемный подвижный элемент 5, жестко соединенный с диском трения 6 стойками 12. От высыпания кормового материала из бункера предохраняет эластичная диафрагма 13. Для большего соответствия опытных данных действительности элемент 5 имеет форму и размеры соответствующие форме торцевой грани ячейки дозатора [2, 3].

Опыты проводили следующим образом. На предварительно заполненный и выровненный до высоты H_0 исследуемый материал в бункере загружали взвешенную порцию $G_{гр}$. Затем сверху клали уплотнительную пластину 3 и последовательно нагружали грузом 4. При каждом интервале нагрузки определяли усилие проворачивания шкива 10.

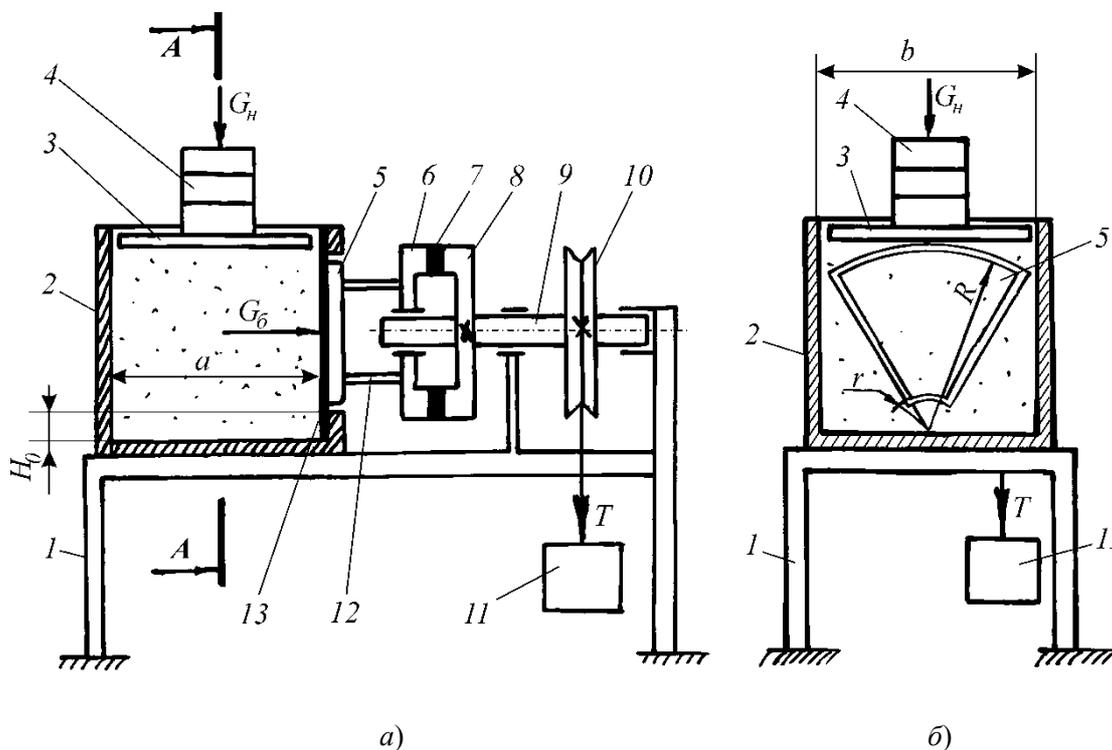


Рис. 1. Схема установки для исследования коэффициента бокового распора:

a – вид с боку; *б* – разрез А-А:

- 1 – стойка; 2 – бункер; 3 – прижимная пластина; 4 – груз; 5 – подвижный элемент;
- 6, 8 – диски трения; 7 – фрикционная шайба; 9 – вал; 10 – шкив; 11 – грузовая чашка;
- 12 – стойка; 13 – эластичная диафрагма

Коэффициент бокового давления определяли из соотношения

$$k_{\delta} = \frac{\sigma_{\text{н}}}{\sigma_{\delta}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{н}}$ – нормальное давление, Па; σ_{δ} – боковое давление, Па.

Нормальное давление определим по выражению

$$\sigma_{\delta} = \frac{(G_{\text{к}} + G_{\text{пл}} + G_{\text{гр}})g}{S_{\text{осн}}} = \frac{(G_{\text{к}} + G_{\text{пл}} + G_{\text{гр}})g}{ab}, \quad (2)$$

где $G_{\text{к}}$, $G_{\text{пл}}$, $G_{\text{гр}}$ – масса соответственно взвешенной порции корма, пластины и груза, кг; $S_{\text{осн}}$ – площадь дна бункера, м²; a , b – длина и ширина бункера соответственно, м.

Боковое давление найдем по формуле

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{G_{\delta}}{S_{\text{я}}}, \quad (3)$$

где G_{δ} – усилие на подвижном элементе, Н; $S_{\text{я}}$ – площадь подвижного элемента, м².

Усилие на подвижном элементе найдем по выражению

$$G_{\delta} = TK_{\text{пр}}g, \quad (4)$$

где T – масса грузовой чашки, кг; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прибора.

Площадь ячейки определим по формуле

$$S_{\text{я}} = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{z_{\text{я}}}, \quad (5)$$

где R – наружный радиус барабана, м; r – радиус вала барабана, м; $z_{\text{я}}$ – количество ячеек в барабане, шт.

Подставим (4) и (5) в формулу (3), а затем формулы (2) и (3) в соотношение (1). После преобразования получим

$$k_{\delta} = \frac{(G_{\text{к}} + G_{\text{пл}} + G_{\text{гр}})\pi(R^2 - r^2)}{abTK_{\text{пр}}z_{\text{я}}}. \quad (7)$$

Исследования проводились на рассыпном комбикорме ($W = 12,7\%$) и влажной мешанке ($W = 62,5\%$). Для рассыпного комбикорма значения коэффициента бокового распора находилась в пределах $k_{\delta} = 0,305 \pm 0,022$, а для влажной мешанки $k_{\delta} = 0,420 \pm 0,037$.

Результаты исследований. Исследования проводились на рассыпном комбикорме ($W = 12,7\%$) и влажной мешанке ($W = 62,5\%$). Для рассыпного комбикорма значения коэффициента бокового распора находилась в пределах $k_{\delta} = 0,305 \pm 0,022$, а для влажной мешанки $k_{\delta} = 0,420 \pm 0,037$.

Выводы. Рассмотрены научно-технические основы по влиянию коэффициента бокового распора на энергозатраты барабанного дозатора. Описан механизм образования бокового давления в ячейке барабанного дозатора с подвижными элементами. Разработана установка и методика исследования коэффициента бокового давления. Получены численные значения коэффициента бокового давления для рассыпного комбикорма и влажной мешанки.

Список использованных источников

1. Ведищев, С. М. Дозатор кормов / С. М. Ведищев, В. Т. Щедрин // Вестник ТГТУ. – 1995. – № 5, 6. – С. 15 – 17.
2. Ведищев, С. М. Скребок дозатор / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 4. – С. 12–13.
3. Ведищев, С. М. Управление подачей барабанного дозатора / С. М. Ведищев, Н. О. Милюков, Н. В. Хольшев // Наука в центральной России. – 2015. – № 1(13). – С. 5 – 11.
4. Ведищев, С. М. Механизация приготовления кормов [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Агроинженерия», а также аспирантов и работников сельскохозяйственных предприятий: в 2 ч. / С. М. Ведищев, В. П. Капустин, Ю. Е. Глазков и др. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 2 электрон. опт. диска (CD-ROM).
5. Тишанинов, Н. П. Обоснование конструктивно-технологической схемы делителя потока сыпучих материалов с изменяемым соотношением расходов отводимых потоков / Н. П. Тишанинов, А. В. Анашкин, К. Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 15 – 21.

References

1. Vedishchev, S. M. Feed Proportioner / S. M. Vedishchev, V. T. Shchedrin // Vestnik TGTU. – 1995. – N 5, 6. – P. 15 – 17.
2. Vedishchev, S. M. Doser Scraper / S. M. Vedishchev, A. V. Prochorov // Tractors and farm machinery. – 2014. – N 4. – P. 12–13.
3. Vedishchev, S. M. Control of the supply drum dispenser / S. M. Vedishchev, N. O. Milyukov, N. V. Holshaw // Science in Central Russia. – 2015. – N 1(13). – P. 5 – 11.
4. Mechanization of preparation of feed [Electronic resource] : textbook for bachelors and masters studying direction-management of “agro engineering”, and graduate students and employees of agricultural enterprises : in 2 ch. / S. M. Vedishchev, V. P. Kapustin, E. Yu. Glazkov, etc. – Tambov : Publishing house FGBOU VPO TGTU, 2015. – 2 electron. opt. disc (CD-ROM).
5. Tishaninov, N. P. The justification of is constructive-technological scheme of the flow divider of the bulk materials with variable relations office costs allocated flows / N. P. Tishaninov, A. V. Anashkin, K. N. Tishaninov // Science in the Central Russia. – 2013. – N 6. – P. 15 – 21.

УДК 620.193.47
ББК Н24.57

Зарапина И. В., Осетров А. Ю.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ТВЕРДОФАЗНОЙ ДИФФУЗИИ ВОДОРОДА ЧЕРЕЗ СТАЛЬНУЮ МЕМБРАНУ

Zarapina I. V., Osetrov A. Yu.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

SOME ASPECTS OF THE PROCESS OF SOLID-PHASE HYDROGEN DIFFUSION THROUGH A STEEL MEMBRANE

Аннотация. Изучена диффузия водорода через стальную мембрану из солянокислых водно-этиленгликолевых растворов в присутствии пиридина, как стимулятора наводороживания.

Ключевые слова: сталь, этиленгликоль, ионы водорода, пиридин.

Abstract. We have studied a hydrogen diffusion through the steel membrane from hydrochloric acid water and ethylene glycol solutions in the presence of pyridine as a stimulator of hydrogenation.

Keywords: steel, ethylene glycol, ions hydrogen, pyridine.

Коррозионное разрушение металлов приводит к значительным прямым и косвенным потерям, и, как следствие, возникновению экологических проблем. Экологическая опасность возрастает в районах газо-, нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности из-за применения высоких температур, давлений, скоростей и новых, в том числе незамкнутых, технологий [1]. Одной из основных причин, приводящих к утечке нефтепродуктов в окружающую среду, являются коррозионные повреждения стенок трубопроводов из-за наводороживания металлов. Явление наводороживания возникает при многих технологических операциях, например, различных гальванических процессах и приводит к кардинальному изменению физико-химических характеристик металлов: охрупчиванию, растрескиванию, появлению механических напряжений [2, 3]. Несмотря на многочисленные исследования, многие аспекты наводороживания остаются неясными, что определяется большой сложностью электрохимических систем, в которых происходит одновременная адсорбция водорода и компонентов раствора и, как следствие, активная перестройка поверхности металла. Поэтому, несомненно, актуальным является проведение экспериментальных исследований, которые позволили бы углубить знания по вопросам твердофазной диффузии водорода в металл.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния пиридина как стимулятора на водородоживания и состава смешанного водно-этиленгликолевого растворителя на твердофазную диффузию водорода в сталь из солянокислых растворов.

Диффузию водорода через стальную (Ст3) мембрану толщиной $3 \cdot 10^{-4}$ м и площадью $3,63 \cdot 10^{-4}$ м² изучали в двухкамерной ячейке Деванатхана по методике, изложенной в [4]. В поляризационную часть электрохимической ячейки вводили рабочий раствор, а в диффузионную – точно фиксированный объем перманганата калия. Продолжительность экспериментов составляла 2 – 8 ч при температуре 20 °С. Смешанные водно-этиленгликолевые растворители получали введением в условно безводный этиленгликоль («ч.д.а.») рассчитанного количества двукратно дистиллированной воды и последующим насыщением их сухим хлороводородом. Содержание HCl контролировали титрованием щелочью проб, разбавленных водой, в присутствии фенолфталеина. Рабочие растворы имели состав xM HCl + $(1 - x)M$ LiCl, где концентрация x составляла 0,01...0,99 моль/л. Хлорид лития перед использованием предварительно обезвоживали в воздушном термостате при температуре 110 ± 5 °С. В качестве стимулятора процесса наводороживания использовали пиридин C_5H_5N («х.ч.») концентрацией 0,5...10 ммоль/л. Исследования проводили при потенциале коррозии $E_{кор}$.

Экспериментальные результаты показали, что поток диффузии водорода (i_H) через стальную мембрану в присутствии 2 масс. % воды снижается с ростом кислотности среды (рис. 1, а), при наличии 10 масс. % воды – практически не зависит C_{H^+} (рис. 1, б), а при полной пересольватации поверхности (при наличии 50 масс. % H₂O) – проходит через максимум (рис. 1, в).

Влияние концентрации ионов пиридиния на процесс диффузии водорода через стальную мембрану при потенциале $E_{кор}$ ее входной стороны показано на рис. 2. Очевидно, что во всем изученном интервале концентраций катионы пиридиния стимулируют твердофазную диффузию водорода в сталь. Зависимость величины i_H

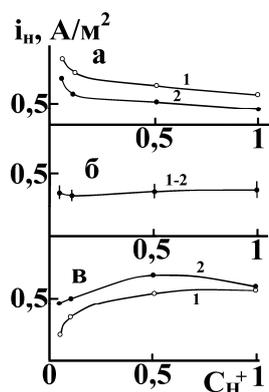


Рис. 1. Зависимость потока диффузии водорода через стальную мембрану от исходной концентрации C_{H^+} в водно-этиленгликолевых растворах:

а – 2 масс. % H₂O, *б* – 10 масс. % H₂O, *в* – 50 масс. % H₂O; $C_{C_5H_5NH^+}$, ммоль/л:

1 – 10; 2 – 1; 20 °С, атмосфера – воздух

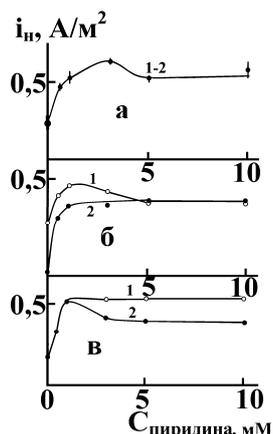
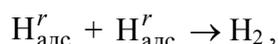


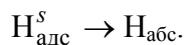
Рис. 2. Влияние концентрации пиридина на диффузию водорода через стальную мембрану при потенциале коррозии ее входной стороны из водно-этиленгликолевых растворов HCl с постоянной ионной силой: а – 2 масс. % H₂O, б – 10 масс. % H₂O, в – 50 масс. % H₂O; C_{HCl}, моль/л: 1 – 0,99; 2 – 0,1; 20 °С, атмосфера – воздух

от концентрации пиридина проходит через максимум, либо в области малых $C_{C_5H_5NH^+}$ наблюдается восходящий участок, а затем область независимости потока диффузии водорода i_H от величины $C_{C_5H_5NH^+}$.

Интерпретируя полученные закономерности, учтем энергетическую неоднородность поверхности стали. Существуют две формы адсорбированного водорода [5]: надповерхностная $H_{адс}^r$ и подповерхностная $H_{адс}^s$. Первая форма обуславливает реакцию рекомбинации (реакция Тафеля):



а вторая – абсорбцию водорода металлом:



Очевидно, что обе формы адсорбированного водорода находятся в равновесии. В терминах двумерной концентрации им соответствуют величины степени заполнения поверхности, которые обозначают θ_H^r и θ_H^s . Сделаем допущение, что

$$\theta_H^r + \theta_H^s = \text{const.}$$

Если справедливо равновесие



то справедливо подобное выражение для степеней заполнения поверхности:

$$\theta_H^r \leftrightarrow \theta_H^s. \quad (1)$$

Сдвиг равновесия (1) влево приводит к уменьшению потока диффузии в металл, вправо – к его увеличению. При отсутствии постоянства величины $\sum \theta_{\text{H}}^i$ аналогичный эффект имеет место, если соответствующим образом изменить соотношение $\theta_{\text{H}}^s / \theta_{\text{H}}^r$. Уменьшение этого соотношения тормозит поток диффузии водорода, обратный характер изменения стимулирует величину i_{H} . Таким образом, становится возможным управление процессом наводороживания металлов и предотвращения негативных экологических, экономических и социальных проблем.

Список использованных источников

1. Гриценко, А. И. Экология. Нефть и газ / А. И. Гриценко, Г. С. Аكوпова, В. М. Максимов. – М. : Наука, 1997. – 597 с.
2. Осетров, А. Ю. Исследование кинетики электродных процессов на углеродистой стали под пленками композиций индустриального масла И-20А и ИФХАН-29А в растворе NaCl, насыщенном SO₂ // А. Ю. Осетров, И. В. Зарапина // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 5(10). – С. 77 – 80.
3. Зарапина, И. В. Применение ингибированных масляных композиций в целях защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в атмосфере, содержащей SO₂ / И. В. Зарапина, А. Ю. Осетров // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 1(16). – С. 271 – 275.
4. Кардаш, Н. В. Методика определения водорода, диффундирующего через стальную мембрану / Н. В. Кардаш, В. В. Батраков // Защита металлов. – 1995. – Т. 31, № 4. – С. 441 – 446.
5. Тоя Т. Две формы водорода поверхности металла / Т. Тоя, Т. Ито, И. Иши // Электрохимия. – 1978. – Т. 14, № 5. – С. 703 – 710.

References

1. Gritsenko, A. I. Oil and gas / A. I. Gritsenko, G. S. Akopova, V. M. Maksimov. – M. : Nauka, 1997. – 597 p.
2. Osetrov, A. Yu. Study of kinetics of electrode processes on carbon steel under the films of compositions industrial oil I-20A and IFHAN-29A in NaCl solution, saturated SO₂ // A. Yu. Osetrov, I. V. Zarapina // Innovations in Agriculture. – 2014. – N 5(10). – P. 77 – 80.
3. Zarapina, I. V. The use of inhibited oil compositions for protection against corrosion of agricultural equipment in atmospheres containing SO₂ / I. V. Zarapina, A. Yu. Osetrov // Innovations in Agriculture. – 2016. – N 1(16). – P. 271 – 275.
4. Kardash, N. V. Methods of determining the hydrogen diffused through a steel membrane / N. V. Kardash, V. V. Batrakov // Protection of metals. – 1995. – V. 31, N 4. – P. 441 – 446.
5. Toya, T. The two forms of the metal surface hydrogen / T. Toya, T. Ito, I. Ishi // Electrochemistry. – 1978. – V. 14, N 5. – P. 703 – 710.

УДК 661.728.86

ББК Л71

Шипина О. Т., Трескова В. И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет
(Россия, г. Казань)

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ НАТРИЕВОЙ СОЛИ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Shipina O. T., Treskova V. I.

Kazan National Research Technological University
(Russia, Kazan)

SYNTHESIS AND PROPERTIES OF SYNTHETIC POLYMERS BASEDON SODIUM CARBOXYMETHYL CELLULOSE

Аннотация. Изучено взаимодействие натриевой соли карбоксиметил целлюлозы с алиламином. В результате физико-химических методов исследования были установлены наиболее вероятные процессы протекания химической реакции, а именно замещение карбоксильных групп на фрагмент алиламина по мономолекулярному нуклеофильному механизму и деполимеризация макромолекулы Na-КМЦ по β -гликозидной связи.

Ключевые слова: переработка полимеров; натриевая соль карбоксиметил целлюлозы; алиламин; замещение карбоксиметильных групп; деструкция макроцепи.

Abstract. The interaction of the sodium salt of carboxymethyl cellulose with alilaminom. As a result of physical and chemical methods of research it was established the most probable processes of chemical reaction, namely the replacement of carboxyl groups on the fragment of allylamine by unimolecular nucleophilic mechanism and depolymerization of macromolecules of the sodium salt of carboxymethyl cellulose on beta-glycoside bond.

Keywords: processing of polymers; sodium carboxymethyl cellulose; alilamin; substitution of carboxymethyl groups; macrochains destruction.

Одно из ведущих мест по объему переработки среди природных полимеров занимает целлюлоза. Из простых эфиров целлюлозы наибольшее практическое использование нашла карбоксиметил целлюлоза (КМЦ), которая выпускается в виде натриевой соли (Na-КМЦ) [1]. Карбоксиметилцеллюлоза представляет собой простой эфир целлюлозы и гликолевой кислоты; применяется как в форме целлюлозогликолевой кислоты (Н-КМЦ), так и виде различных солей [2]. Она широко применяется в нефте- и газодобыче, в текстильной промышленности, а также в пищевой и фармацевтической отрасли. Расширения возможных областей применения КМЦ можно достигнуть путем ее химической модификации. Химическая модификация натриевой соли карбоксиметил целлюлозы низкомолекулярными соединениями – это один из способов, который позволяет изменять в заданном направлении молекулярный состав, физические и химиче-

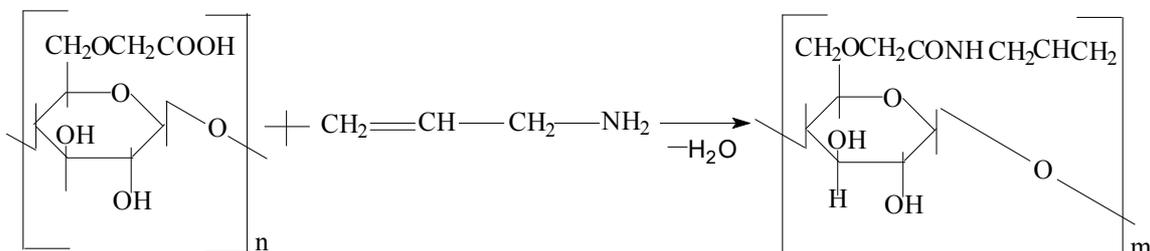
ские свойства получаемых из него искусственных полимеров [3, 4]. Химическое превращение частично замещенного эфира целлюлозы можно проводить двумя способами: вводить новые функциональные группы по свободным гидроксильным группам полимера в ангидрогликозных звеньях или избирательно модифицировать уже существующие карбоксиметильные заместители [5, 6]. Из литературных данных известно, что введение в макромолекулы карбоксиметилцеллюлозы амино-групп приводит к повышению сорбционной активности эфиров целлюлозы по отношению к ионам тяжелых металлов [7, 8]. Варьируя количество карбоксильных и амино-групп в макроцепях производных целлюлозы, а также степень их ионизации, можно целенаправленно изменять сорбционную способность сорбентов, получаемых на основе целлюлозы по отношению к ионам поливалентных металлов, а также изменять растворимость исходной КМЦ, что представляет интерес использования полученных полимеров, как сорбентов при обработке, например, производственных сточных вод [7].

Целью настоящего исследования является изучение химического взаимодействия натриевой соли карбоксиметил целлюлозы с алиламином и строения синтезированных продуктов реакции.

В качестве исходной Na-КМЦ был взят технический образец «Полицелл КМЦ-9 Н» со степенью замещения по карбоксиметильным группам 0,1 и степенью полимеризации [9]. Модифицирующим агентом служил алиламин. В его структуре присутствует аминный фрагмент ($R-NH_2$) с двумя неподеленными парами электронов на атоме азота, что определяет его нуклеофильные свойства [10].

Реакция химической модификации Na-КМЦ алиламином протекала с малой интенсивностью. Это подтверждено результатами элементного анализа и ИК-спектроскопией, которые не выявили изменения структуры полученных полимеров. Поэтому дальнейшие реакции проводили в протонированной форме Н-КМЦ. Химическое превращение осуществлялось в суспензионной водной среде, так как она является полярным протонным растворителем благоприятствующим протеканию реакции по нуклеофильному S_N^1 механизму. Как известно чем полярнее растворитель, тем больше его сольватирующая поверхность и тем быстрее происходит ионизация субстрата. Сольватация карбокатиона молекулами растворителя является фактором, стабилизирующим интермедиат и тем самым увеличивающим скорость реакции. Модифицирующий агент использовали в избытке в расчете 2 моль алиламина на каждую карбоксиметильную группу Н-КМЦ с целью сместить направление реакции вправо. Увеличение количества нуклеофила более 2 моль в одинаковых условиях не приводило к более интенсивному замещению. Реакции проводились в интервале температур 49...52 °С. При более низких температурах нуклеофильное замещение идет с очень малой интенсивностью, и проводить ее ниже выбранного температурного режима нецелесообразно. Поднять температуру реакции свыше 52 °С было невозможно, так как температура кипения алиламина 53 °С. Реакции осуществляли при различном времени выдержки 2, 4, 6 и 8 ч. Увеличение реакции свыше 8 ч не приводило к существенному изменению степени замещения карбоксиметильных групп на аминогруппы. В результате реакций получены твердые полимерные продукты в виде мелкодисперсного порошка белого цвета. Со-

гласно данным элементного анализа с увеличением времени реакции до 8 ч прямо пропорционально происходит повышение степени замещения карбоксильных групп на фрагмент аллиламина. Реакция химического взаимодействия карбоксиметил целлюлозы с аллиламином протекает по механизму нуклеофильного замещения, где $m < n$:



В ИК спектре Н-КМЦ модифицированной аллиламином также как и в исходной Н-КМЦ присутствует широкая полоса поглощения, в области $36\ 000 \dots 3000\ \text{см}^{-1}$ отнесенная к валентным колебаниям гидроксильных групп. В области валентных колебаний С–Н-связей присутствует пик при $2922\ \text{см}^{-1}$, характеризующий асимметричные колебания метиленовой группы; полоса в области $1609\ \text{см}^{-1}$, относится к асимметричным колебаниям ионизированных карбоксильных групп COO^- ; область $1383\ \text{см}^{-1}$ – колебания CH_2 -связей. Колебания связей глюкопиранозного кольца целлюлозы наблюдаются в области $1056\ \text{см}^{-1}$; полоса поглощения в области $1150\ \text{см}^{-1}$ относится к колебаниям СО-групп гликозидной связи. В отличие от исходной Н-КМЦ появляется новый пик в области $1418\ \text{см}^{-1}$, соответствующий валентным колебаниям С–N-группы, что свидетельствует о нуклеофильном замещении карбоксильной группы на аминный фрагмент. Этот факт подтверждается снижением интенсивности полосы поглощения карбоксильной группы COO^- . Так же появляется слабая полоса внеплоскостных деформационных колебаний $=\text{CH}$ в области $770\ \text{см}^{-1}$, которая присутствует в структуре модифицирующего агента.

Были определены значения динамической вязкости водных растворов исходного Н-КМЦ и модифицированных алиламином. Данные вискозиметрического анализа показали, что вязкость полученных эфиров целлюлозы в растворе гидроксида натрия, незначительно снижается по сравнению с вязкостью исходной карбоксиметилцеллюлозы ($\eta_{\text{относит}} = 3,38$). При максимальном времени взаимодействия 8 ч у продукта, полученного при 8 ч, $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_2(\text{CH}_2\text{COOH})_{0,60}(\text{C}_3\text{H}_7\text{N})_{0,40}$ вязкость раствора, снизилась до значения $\eta_{\text{относит}} = 3,1$. Это свидетельствует о том, что в макромолекуле модифицированного продукта протекают деполимеризационные процессы, сопровождающиеся разрывом β -гликозидной связи, но их интенсивность не велика.

Данные растворимости исходной карбоксиметилцеллюлозы и полученных продуктов взаимодействия Н-КМЦ с аллиламином, показали, что Н-КМЦ набухает только в воде с образованием геля. Полученные же продукты растворяются в апротонных полярных растворителях, таких как ДМСО и ДМФА. Это свидетельствует о том, что произошло повышение растворимости полимера вследствие появления новых полярных функциональных групп и снижения молекулярной массы полимера.

На рентгенограмме Н-КМЦ характерно наличие на рентгенограмме интерференционного пика $20\eta = 18^\circ$ соответствующего кристаллической фазе целлюлозы. На рентге-

нограмме Н-КМЦ модифицированной аллиламином видна низкая линия, что говорит о наличии аморфной структуры полимера. В полученном образце происходит существенное изменение в положении интерференционных пиков, соответствующих кристаллической фазе, что в определенной степени свидетельствует об изменении параметров элементарной ячейки полимера. Также уменьшается интегральная интенсивность; происходит спад высоты пика, у образца Н-КМЦ он составляет 2715, а у полученного полимера 134. Наблюдаются значительные изменения в надмолекулярной структуре полимера, что является следствием воздействия на него температур и влиянием процесса переосаждения. Наблюдаемая модификация в структурной организации аллиламинакарбоксиметил целлюлозы, непосредственно связана и с размерами кристаллитов, которые уменьшились до 231 в сравнении с Н-КМЦ, являющихся характеристикой не только надмолекулярной структуры, но и физико-химических свойств целлюлозы и ее эфиров. Снижение интенсивности пика на рентгенограмме продукта реакции свидетельствует о снижении степени кристалличности либо об аморфизации. Судя по измеренным межплоскостными расстояниям, для Н-КМЦ оно составляет 2,8072, а для модификата 4,836, что свидетельствует о некоторой трансформации в упаковке макромолекулярных цепей.

Таким образом, в результате взаимодействия карбоксиметилцеллюлозы с аллиламином в водной среде синтезирован новый смешанный эфир целлюлозы – аллиламинакарбоксиметил целлюлозы, обладающий отличными от исходного КМЦ физическими и химическими свойствами. Следовательно, реакции нуклеофильного замещения дают возможность получить новые типы смешанных эфиров целлюлозы, синтез которых другим методом невозможен.

Список использованных источников

1. Кленкова И.И. Структура и реакционная способность целлюлозы. – Л. : Наука, 1976. – 367 с.
2. Иоелович, М. Я. Изучение надмолекулярной структуры нативной и изолированной целлюлозы / М. Я. Иоелович // Высокомолекулярные соединения. – 1991. – Т. 33 А. – № 8. – С. 1786 – 1792.
3. Уткина, Е. И. Получение и свойства химически модифицированных нитратов целлюлозы / Е. А. Уткина, О. Т. Шипина // Вестник КТУ. – 2009. – № 5. – С. 4 – 8.
4. Уткина, Е. И. Исследование реакции взаимодействия нитратов целлюлозы с несимметричным диметилгидразином / Е. А. Уткина, С. М. Романова, С. В. Фридланд // Вестник ТОРЭА. – 2006. – № 4. – С. 46 – 50.
5. Шипина, О. Т. Исследование влияния растворов азотной кислоты на свойства льняной целлюлозы / О. Т. Шипина, М. Р. Гараева, Н. С. Рогова // Вестник КТУ. – 2009. – № 6. – С. 141 – 147.
6. Шипина, О. Т. Структура азотнокислых эфиров целлюлозы и реологические свойства их растворов / О. Т. Шипина, А. В. Косточко, З. Т. Валишина, Н. И. Наумкина // Вестник КТУ. – 2011. – № 16. – С. 129 – 140.

7. Забивалова, Н. М. Смешанные эфиры целлюлозы, содержащие карбоксильные и аминогруппы // Н. М. Забивалова, А. М. Бочек, Л. М. Калюжная и др. // ЖПХ. – 2003. – Т. 76, № 12. – С. 2048 – 2052.

8. Синтез и реологические свойства водных растворов комплексов карбоксиметилцеллюлозы с гидразидом изоникотиновой кислоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : свободный http://www.chem.asu.ru/chemwood/volume12/2008_04/0804_035.pdf.

9. ТУ 2231-057-07508003-2002. Натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы техническая. Технические условия. – М., 2002. – 24 с.

10. Аллиламин [Электронный ресурс] : – Электр. дан. – М., 2015.– Режим доступа : http://www.chemweek.ru/spravka/catalog/el_793.htm. – Загл. с экрана.

References

1. Klenkova, I. I. The structure and cellulose reactivity. – L. : Nauka, 1976. – 367 p.
2. Ioelovich, M. J. The study of the supramolecular structure of native and isolated cellulose / M. J. Ioelovich // Macromolecular compounds. – 1991. – Т. 33 А, N 8. – P. 1786 – 1792.
3. Utkin, E. I. Reception and a property of chemically modified cellulose nitrates / E. I. Utkin, O. T. Shipina // Herald KTU. – 2009. – N 5. – P. 4 – 8.
4. Utkin, E. I. Investigation of cellulose nitrate interaction with asymmetrical dimethylhydrazine / E. I. Utkin, S. M. Romanov, S. V. Friedland // Herald TOREA. – 2006. – N 4. – P. 46 – 50.
5. Shipina, O. T. Investigation of the effect of nitric acid solution on the properties of linen cellulose / O. T. Shipina, M. R. Garayeva, N. S. Rogov // Herald KTU. – 2009. – N 6. – P. 141 – 147.
6. Shipina, O. T. The structure of cellulose nitrate esters and their rheological properties of the solutions / O. T. Shipina, A. V. Seeds, Z. T. Valishina, N. I. Naumkina // Herald KTU. – 2011. – N 16. – P. 129 – 140.
7. Zabivalova, N. M. Mixed cellulose ethers containing carboxyl and amino // N. M. Zabivalova, A. M. Barrels, L. M. Kaljuzhnaja et al. // ZHPH. – 2003. – V. 76, N 12. – P. 2048 – 2052.
8. Synthesis and rheological properties of aqueous solutions of carboxymethylcellulose complexes with isonicotinic acid hydrazide [electronic resource]. Access : Free http://www.chem.asu.ru/chemwood/volume12/2008_04/0804_035.pdf.
9. ТУ 2231-057-07508003-2002. Sodium carboxymethylcellulose technical. Specifications. – М., 2002. – 24 p.
10. Allylamine [electronic resource]. – Electric. Dan. – М., 2015. – Access : http://www.chemweek.ru/spravka/catalog/el_793.htm. – Caps. screen.

УДК 631.363.21
ББК 40.729

Ерохин А. П., Дьячков С. В., Бахарев А. А., Пальчиков Е. В., Новичков Р. А.

Мичуринский государственный аграрный университет
(Россия, г. Мичуринск)

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИЙ В СЕПАРАТОРАХ МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК

Erokhin A. P., Dyachkov S. V., Bakharev A. A., Palchikov E. V., Novichkov R. A.

Michurinsk State Agrarian University
(Russia, Michurinsk)

CRITERIA FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF THE SEPARATION PROCESS OF THE FRACTIONS IN THE SEPARATORS OF HAMMER CRUSHERS

Аннотация. В статье рассмотрены технологические схемы работы молотковых дробилок. Предложена параметрическая схема и рассмотрены методики оценки эффективности процессов сепарирования измельченных фракций в сепараторе молотковой дробилки.

Ключевые слова: сепаратор, дробилка, рециркулят.

Abstract. The article deals with the technological schemes of work hammer crushers. A parametric diagram and discussed methods of evaluating the effectiveness of the processes of separation fractions of crushed in a hammer mill separator.

Keywords: separator, crusher, recycle.

Сепарирование – это процесс разделения на фракции неоднородных смесей.

Условия сепарирования определяются большим числом факторов: физическими свойствами и концентрацией отдельных фракций разделяемой смеси, параметрами рабочих органов, технологическими схемами и принципами действия сепарирующих машин и аппаратов, целью разделения, производительностью и пр.

Сепараторы получили широкое распространение в сельском хозяйстве пищевой, горнодобывающей промышленности, медицине и других областях деятельности человека.

Одной из важнейших технологических операций, влияющих на качество готового продукта при приготовлении кормов в сельскохозяйственном производстве, является операция сепарирования измельченных фракций в молотковых дробилках.

Дробилки группируют по принципу работы, конструктивным и аэродинамическим особенностям, размещению места загрузки, способу отвода измельченного материала.

На молотковых дробилках осуществляют крупное, среднее и мелкое измельчение. Для достижения необходимого качества готового продукта и степени измельчения часто процесс проводят в несколько стадий: дробление и сепарирование на кондиционную (готовый продукт) и некондиционную (рециркулят) фракции.

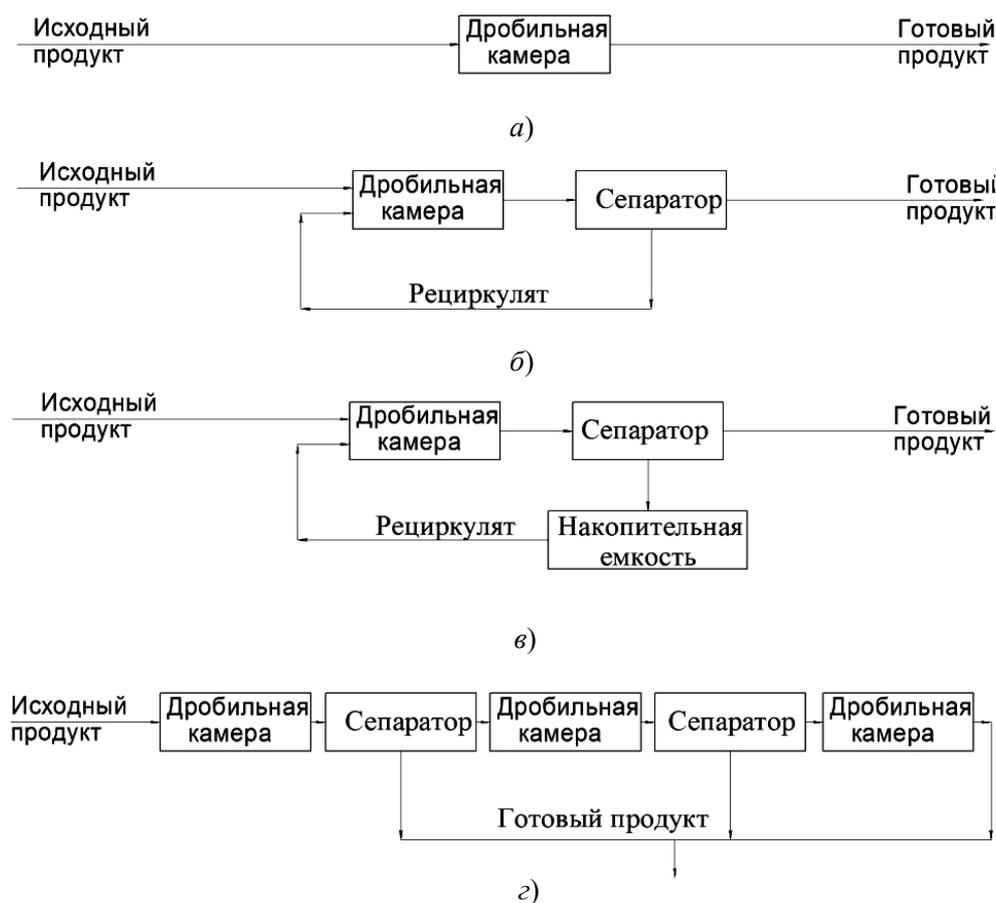


Рис. 1. Технологические схемы работы молотковых дробилок

Известны технологические схемы работы молотковых дробилок (рис. 1) [1].

В молотковой дробилке (рис. 1, а) решето установлено непосредственно в дробильной камере. К недостаткам здесь относят переизмельчение и высокие энергозатраты из-за циркуляции слоя в камере измельчения. Данная схема получила название схемы с открытым циклом.

Дробилка с рециркуляцией (рис. 1, б) работает по открытому циклу.

Ее дробильная камера, как правило, не имеет сепарирующей поверхности и оборудована сепаратором (решетным, жалюзийным, пневматическим, инерционным либо комбинированным), который делит измельчаемое зерно на две фракции – готовый продукт и недоизмельченный (рециркулят). Рециркулят после сепаратора направляется на доизмельчение в дробильную камеру.

На схеме, представленной на рис. 1, в исходный продукт и рециркулят поступают в дробильную камеру поочередно за счет накопительной емкости. Недостаток данной схемы – нарушение непрерывности технологического процесса. Отсюда вытекает необходимость наличия второй и более стадий измельчения.

Схема работы дробилки, представленная на рис. 1, з, дает возможность не смешивать исходный и недоизмельченный продукты в дробильной камере, за счет разделения дробильной камеры по длине на ряд параллельных секций; а также использования нескольких независимых сепараторов.

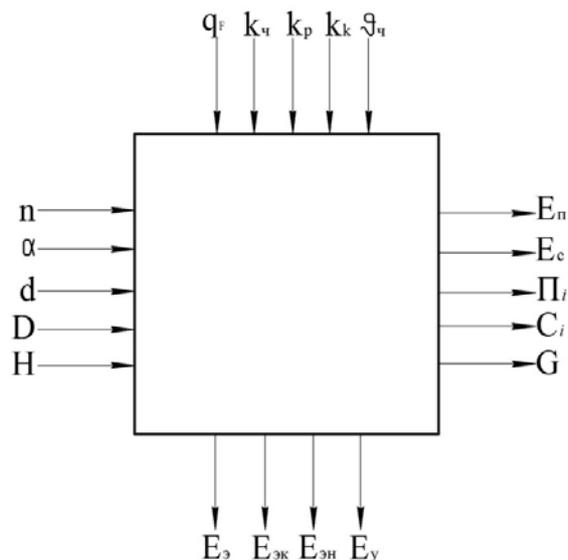


Рис. 2. Параметрическая схема процессов сепарирования измельченных фракций в сепараторе

На процесс эффективности сепарирования влияют множество факторов. Рассмотрим некоторые из них. На рисунке 2 представлена параметрическая схема сепарирования измельчаемого зерна на фракции.

К входным параметрам сепаратора молотковой дробилки можно отнести: нагрузку на единицу площади q_F сепарирующих поверхностей, характеристику разделяемых частиц (гранулометрический состав смеси) $k_ч$, их концентрацию k_k , характеристику рабочих органов (размеры, конструктивные особенности и пр.) k_p , частоту вращения рабочего органа (если сепаратор с активным(и) рабочими органами) n , начальную скорость частиц $\vartheta_ч$, положение рабочих органов в пространстве, определяемое углами α_i , геометрические размеры пневмосепарирующего канала d, D, H .

На процесс сепарирования могут также влиять параметры окружающей среды, особенности технологической схемы и пр. Выходные параметры могут определяться количеством прохода Π_i или схода C_i фракции продукта, технологической эффективностью прохода либо схода E_{Π} и $E_{эк}$, различными экономическими, энергетическими, эксплуатационными показателями $E_э, E_{эк}, E_{эн}$, а также показателями эффективности управления E_y .

Для оценки технологической эффективности работы процесса разделения определяют производительность и разделяющую способность сепарирующих машин.

Производительность процесса разделения определяют как сумму проходного и сходового продуктов:

$$G = \Pi_d + G_d = (\Pi_\phi + H_c) + C_\phi + H_\phi = \Pi + C, \quad (1)$$

где Π_d и Π_ϕ – действительное содержание проходного продукта в разделяемой смеси и фактическое извлечение его рабочим органом; C_d и C_ϕ – действительное содержа-

ние сходового продукта в разделяемой смеси и фактическое извлечение его рабочим органом; $\Pi_d - \Pi_\phi = H_\Pi$ и $C_d - C_\phi = H_c$ – недосевы проходowego и сходового продукта.

Технологическую эффективность сепараторов оценивают по величине извлечения проходовой фракции

$$E_\Pi = \frac{\Pi_\phi}{\Pi_d} = \frac{\Pi - H_c}{\Pi - H_c + H_0} = \frac{1}{1 + \frac{H_\Pi}{\Pi - H_c}}. \quad (2)$$

Качество кондиционной фракции принято оценивать модулем помола M и однородностью помола γ [2]. В настоящее время для определения модуля помола применяется ситовый метод, разработанный А. В. Макаровым.

Суть метода заключается в следующем. Навески измельченного продукта массой 100 г просеиваются в течение 5 мин через набор сит с диаметром отверстий 3, 2, 1 мм. Модуль помола определяется по формуле:

$$M = \frac{3,5P_1 + 2,5P_2 + 1,5P_3 + 0,5P_0}{100}, \quad (3)$$

где P_1, P_2, P_3 – массовые остатки на ситах с диаметром отверстий 3, 2 и 1 мм, г; P_0 – масса остатка на сборном дне, г.

Коэффициент полезного действия сепарирующих поверхностей можно определить следующим образом: обозначив массу исходной смеси через m_0 (в кг) и допустив, что в этой смеси масса частиц, размер которых меньше зазоров сепарирующих поверхностей, составляет a (в %). Тогда максимально возможное количество прохода составит $m_0 a/100$ (в кг). На самом деле количество прохода будет меньше, так как часть его уйдет со сходом. Если действительное количество прохода составит m_1 кг. Тогда к.п.д. сепарирующей поверхности (в %) определится по формуле:

$$K = \frac{m_1 \cdot 100}{m_0 a/100}. \quad (4)$$

Технологическую эффективность сепаратора можно оценить по величине извлечения проходовой либо отделения сходовой фракции

$$E_\Pi = \frac{\Pi_\phi}{\Pi_d} = \frac{\Pi - H_c}{\Pi - H_c + H_0} = \frac{1}{1 + \frac{H_\Pi}{\Pi - H_c}}; \quad (5)$$

$$E_c = \frac{C_\phi}{C_d} = \frac{C - H_\Pi}{C - H_\Pi - H_c} = \frac{1}{1 + \frac{H_c}{C - H_\Pi}}. \quad (6)$$

Общий технологический эффект сепарирования смеси на 2 фракции обычно представляют в таком виде:

$$E_\Pi = \sum W_i \frac{\varphi_{ii} - a_i}{a_{ii} - a_i}, \quad (7)$$

где W_i – выход i -й фракции; a_i – содержание i -го компонента в исходной смеси (фактическое извлечение); a_{ii} – чистота i -й фракции при идеальном сепарировании, или показатель делимости; φ_{ii} – чистота i -й фракции (наличие 1-го компонента в i -й фракции).

Приведенное выражение показывает отношение фактического прироста концентрации i -го компонента к предельно возможному. По такому критерию оценивают эффект сепарирования в своей работе И. Т. Мерко и А. Я. Каминский. А. И. Папченко, П. Н. Платонов и А. А. Вайнберг эффективность разделения оценивали по выражению

$$y_1 = \left(1 - \frac{aa_1}{Gb_1}\right) \cdot 100\% \quad (8)$$

а четкость сепарирования

$$y_2 = \left(1 - \frac{1}{1 + b_2/a_2}\right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

где a – количество очищенного продукта (ценная фракция), кг; a_1 и a_2 – доля ценного компонента соответственно в очищенном продукте и в отходах; G – количество исходного продукта, кг; b_1 и b_2 – доля неценного компонента соответственно в исходном продукте и отходах.

Заключение. Рассмотренные критерии оценки эффективности сепарирования могут иметь практическое применение для оценки эффективности работы сепараторов молотковых дробилок.

Список использованных источников

1. Дьячков, С. В. Повышение эффективности работы безрешетных молотковых дробилок путем установки жалюзийного сепаратора-измельчителя : дис. ... канд. техн. наук. – Мичуринск, 2007. – 138 с.
2. Мерчалов, С. В. Повышение эффективности работы молотковой дробилки : дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1998. – 148 с.

References

1. Dyachkov, S. V. Improving the efficiency of sieveless hammer mill by installing a louvered separator-shredder : Dis. Cand. of technical Sciences. – Michurinsk, 2007. – 138 p.
2. Merchalov, S. V. Improving the efficiency of hammer crusher : Dis. cand. those. Sciences. – Voronezh, 1998. – 148 p.

УДК 539.2-022.532

ББК Ж60-3 Д93

Дьячкова Т. П., Аносова И. В., Чернопятова Ю. В., Гаврилов И. А.

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, г. Тамбов)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТОВ
НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОДИСПЕРСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИАНИЛИНОМ**

Dyachkova T. P., Anosova I. V., Chernopyatova Yu. V., Gavrilov I. A.

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov)

**STUDY OF CHARACTERISTICS OF THE SURFACE OF THE COMPOSITES
BASED ON CARBON NANO-DISPERSED CARRIER, MODIFIED POLYANILINE**

Аннотация. Исследовано влияние условий окислительной полимеризации и свойств подложки на удельную поверхность и объемную морфологию композитов углеродных нанотрубок и графеновых нанопластинок с полианилином.

Ключевые слова: полианилин, углеродные нанотрубки, графеновые нанопластины, удельная поверхность.

Abstract. The effect of oxidative polymerization conditions and properties of the substrate on the surface area and the morphology of composites of carbon nanotubes and graphene nanoplates with polyaniline was studied.

Keywords: polyaniline (PANI), carbon nanotubes (CNTs), graphene nanoplates (GNPs), specific surface area.

Материалы с развитой поверхностью востребованы в качестве адсорбентов и носителей катализаторов. В зависимости от особенностей узкой области применения к ним предъявляются различные требования. Чаще всего это повышенная термостабильность, окислительно-восстановительная активность, нетоксичность и т.п. Полианилин (ПАНИ) входит в число весьма ограниченного ассортимента материалов для изготовления универсальных адсорбентов. В литературе имеются сведения об использовании ПАНИ в процессах очистки сточных вод от ионов Cu (II) [1], Hg (II) [2], Pb (II) [3], органических красителей [4]. Одним из уникальных свойств ПАНИ является его способность к поглощению из водных сред патогенных организмов – бактерий [5] и вирусов [6]. В [7] сообщается о перспективах применения ПАНИ в качестве носителя каталитически активных частиц. Однако, удельная поверхность и сорбционная емкость индивидуального ПАНИ не слишком велика. В связи с этим его целесообразно наносить на дисперсные носители, в качестве которых используются углеродные наноматериалы – углеродные нанотрубки (УНТ) и графеновые нанопластины (ГНП), придающие композиту развитую поверхность и стабилизирующие его электропроводящие свойства.

В данном сообщении представлены результаты исследований влияния способов подготовки подложки из углеродных наноматериалов (УНМ) и условий окислительной полимеризации на морфологические особенности композитов ПАНИ/УНТ и ПАНИ/ГНП.

Материалы и методы. В качестве подложки для модифицирования полианилином использовались УНТ «Таунит-М» ($d = 8 \dots 15$ нм, длина ≥ 2 $\mu\text{м}$, удельная поверхность ≥ 300 $\text{м}^2/\text{г}$) и «Таунит-МД» ($d = 30 \dots 80$ нм, длина = 20 $\mu\text{м}$, удельная поверхность = 180...200 $\text{м}^2/\text{г}$), ГНП (5...10 нм в поперечнике) производства «Нанотехцентр», г. Тамбов, (Россия). Осаждение полианилина проводили на поверхность исходных (непосредственно после CVD-процесса) и карбоксилированных УНТ с различной степенью функционализации (D_f). Окисление УНТ проводили перманганатом калия в кислой среде по методике [8]. Степень функционализации СООН-группами определялась титриметрически по методике [9] и составляла от 0,2 до 1,3 ммоль/г. Водная дисперсия ГНП была стабилизирована ПАВ – «Тритон X-100». Содержание ГНП в реакционной смеси варьировало от 0,75 до 2 г/л.

Модифицирование поверхности УНТ и ГНП осуществляли посредством окислительной полимеризации анилина. При этом навеску УНТ (для композитов ПАНИ/УНТ) или рассчитанный объем стабилизированной суспензии ГНП (для композитов ПАНИ/ГНП) диспергировали в дистиллированной воде с помощью ультразвука. В полученную суспензию добавляли концентрированную соляную кислоту в количестве, необходимом для заданного начального уровня $\text{pH} = 1$ и $\text{pH} = 3$, а затем медленно при перемешивании вводили измеренный объем анилина ($4,6 \cdot 10^{-3} \dots 1,24 \cdot 10^{-2}$ М), добавляли персульфат аммония ($5,75 \cdot 10^{-3} \dots 1,56 \cdot 10^{-2}$ М). Полученную суспензию помещали в емкость с мешалкой и перемешивали в течение 5 ч. Полученные композиты ПАНИ/УНТ и ПАНИ/ГНП промывали на фильтре дистиллированной водой, а затем изопропиловым спиртом до исчезновения окраски фильтрата. Полученные материалы были высушены при температуре 80 °С.

Морфологию полученных композитов изучали посредством сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии с помощью микроскопов Merlin (CarlZeiss, Jena, Germany) и JOEL JEM-1011 (JOEL Ltd, Tokio, Japan) соответственно. Удельную поверхность образцов определяли по адсорбции азота в жидком азоте (77 К) с помощью прибора «Сорбтометр-М» (ЗАО «Мета», Новосибирск, Россия).

Результаты и обсуждение. ПАНИ, образующийся в ходе окислительной полимеризации анилина, может не только осаждаться на поверхности УНМ, но и образовывать отдельную объемную фазу. Действительно, по данным ПЭМ, отдельные исходные УНТ или участки их поверхности могут быть не модифицированы (рис. 1, а и 2, а).

В [10] приводятся сведения о том, что кислородсодержащие функциональные группы на поверхности УНМ должны способствовать получению более качественного композитного покрытия. Полученные экспериментальные данные подтверждают этот факт. Наличие на поверхности УНТ СООН-групп способствует формированию достаточно равномерного модифицирующего слоя ПАНИ (рис. 1, 2, б и в).

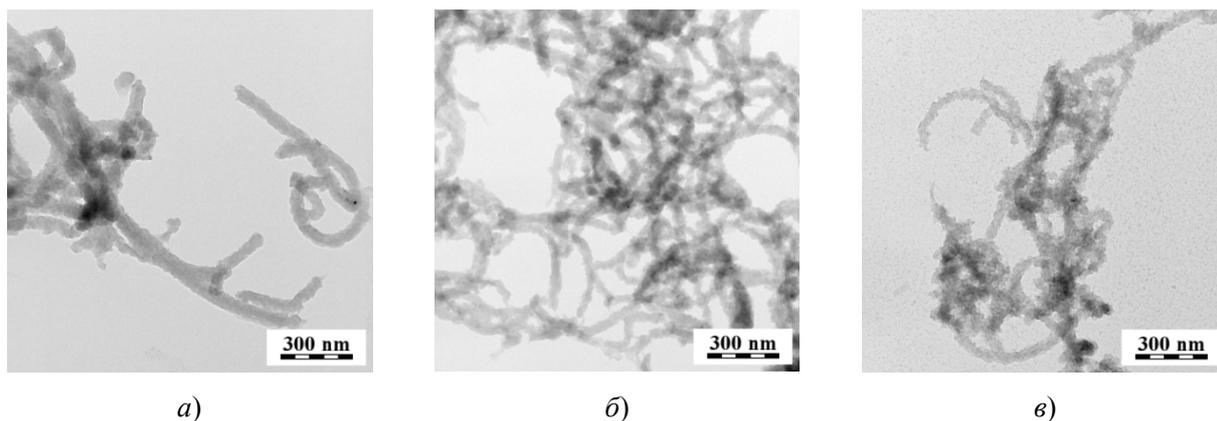


Рис. 1. ПЭМ-изображения исходных (а) и предварительно окисленных УНТ «Таунит-М» (D_f : б – 0,4 ммоль/г; в – 1,3 ммоль/г), модифицированных полианилином (80 масс. %)

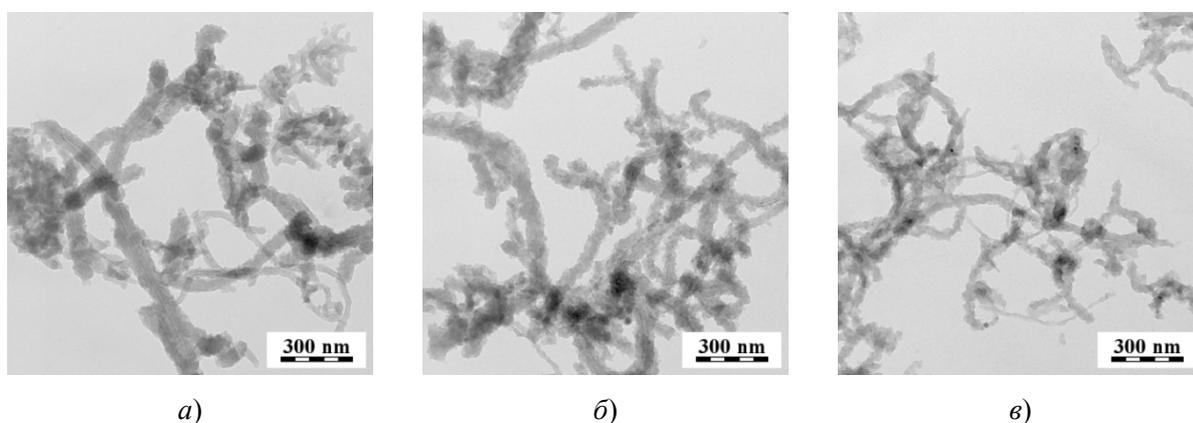


Рис. 2. ПЭМ-изображения исходных (а) и предварительно окисленных УНТ «Таунит-МД» (D_f : б – 0,4 ммоль/г; в – 1,1 ммоль/г), модифицированных полианилином (80 масс. %)

На поверхности ГНП присутствуют кислород- и серосодержащие группы, сходные с функциональными группами, образующимися на поверхности УНТ при окислении. Это должно оказывать влияние на структуру формирующегося модифицирующего покрытия. Действительно, по данным СЭМ (рис. 3), на поверхности ГНП формируется модифицирующий слой гранулярной структуры. Причем, прослеживается утолщение и увеличение пористости модифицирующего слоя по мере увеличения содержания ПАНИ.

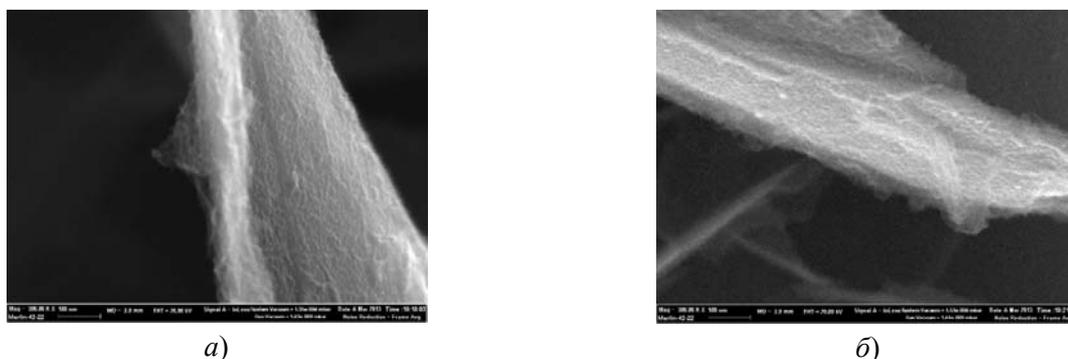


Рис. 3. СЭМ-изображения композитов ПАНИ/ГНП. Содержание полианилина 20 (а) и 40 (б) масс. %

1. Удельная поверхность композитов ПАНИ (80 масс. %)/УНТ

Вид УНТ	D_f , ммоль/г	Удельная поверхность, определенная однотоочечным методом P/P_0 , м ² /г	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г
«Таунит-М»	–	50,2	50,1
	0,1	84,7	83,5
	0,7	105,6	104,6
	1,3	111,9	119,0
«Таунит-МД»	–	43,0	419
	0,2	91,0	90,2
	0,6	95,2	95,68
	1,1	137,2	152,2

Дополнительные сведения о морфологии синтезированных композитов дает анализ величины их удельной поверхности (табл. 1). Индивидуальный ПАНИ имеет достаточно высокую удельную поверхность (около 40 м²/г). Однако сочетание его с УНТ позволяет развить поверхность более чем в два раза. Предварительное окисление УНТ способствует получению материалов с высокими значениями $S_{уд}$. Причем, удельная поверхность увеличивается симбатно степени функционализации во всем исследованном интервале D_f .

Объяснение такого влияния карбоксильных групп на структуру полианилинового композитного слоя, полученное посредством расчета методами молекулярной динамики, представлено в [11].

В таблице 2 приведены сведения о величине удельной поверхности для композитов ПАНИ/ГНП. С ростом концентрации ГНП в реакционной смеси наблюдается снижение удельной поверхности. Это связано с агломерацией частиц композита. Наибольшее значение удельной поверхности достигнуто при начальном рН = 1 и содержании ГНП в реакционной массе 0,75 г/л (117,9 м²/г).

2. Удельная поверхность композитов ПАНИ/ГНП

Начальное значение рН	Содержание ГНП в реакционной массе, г/л	Удельная поверхность, определенная однотоочечным методом P/P_0 , м ² /г	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г
1	0,75	–	117,9
	2	96,6	96,0
3	0,75	89,7	89,8
	2	82,1	82,2

Выводы.

1. Удельная поверхность композитов ПАНИ/УНТ растет с увеличением степени функционализации подложки карбоксильными группами.
2. Для получения композитов ПАНИ/ГНП с максимально развитой поверхностью необходимо содержание ГНП в реакционной массе не более 0,75 г/л.
3. Композиты ПАНИ/УНТ и ПАНИ/ГНП перспективны для использования в качестве сорбционных материалов, поскольку их удельная поверхность может превышать аналогичную величину для чистого ПАНИ в 2 и более раз.

Список использованных источников

- 1 F. A. Rafiqi, K. Majid. Removal of copper from aqueous solution using polyaniline and polyaniline/ferricyanide composite, J. Environ. Chem. Eng. 3. – 2015. – P. 2492 – 2501.
- 2 Wang, J. Removal of aqueous Hg(II) by polyaniline: sorption characteristics and mechanisms, Environ. Sci. Technol / J. Wang, B. L. Deng, H. Chen, X. R. Wang, J. Z. Zheng. – 43. – 2009. – P. 5223 – 5228.
- 3 Karthik, R., Removal of Pb(II) and Cd(II) ions from aqueous solution using polyaniline grafted chitosan, Chem. Eng. J. / R. Karthik, S. Meenakshi. – 263. – 2015. – P. 168 – 177.
- 4 Agarwal, Sh. Synthesis and characteristics of polyaniline/zirconium oxide conductive nanocomposite for dye adsorption application, J. of Molecular Liquids / Sh. Agarwal, I. Tyagi, V. K. Gupta, F. Golbaz, A. N. Golikand, O. Moradi. – 128. – 2016. – P. 494 – 498.
- 5 Boomi, P. Synthesis, characterization and antibacterial activity of polyaniline/Pt-Pdnanocomposite / P. Boomi, H. G. Prabu, J. Mathiyarasu // European Journal of Medicinal Chemistry. – 72. – 2014. – P. 18 – 25.
- 6 Sapurina, I. Yu. Polyaniline and its composites as sorbents of influenza viruses, Polym. Sci. / I. Yu. Sapurina, M. V. Ivanova, V. T. Ivanova, E. I. Burtseva, S. V. Trushakova, E. I. Isaeva, E. S. Kirilova, Ya. E. Kurochkina, A. A. Manykin, L. V. Uryvaev. – A. 56. – 2014. – P. 450 – 458.
- 7 Dyachkova, T. P. The Study of Absorption of Copper and Nickel Ions by Polyaniline and its Nanocomposite with Carbon Nanotubes, Transactions of TSTU / T. P. Dyachkova, A. V. Melezhyk, Zh. G. Morozova, A. V. Shuklinov, A. G. Tkachev. – 18. – 2012. – P. 1067 – 1073.
- 8 Дьячкова, Т. П. Влияние модификации функционализированными углеродными нанотрубками на свойства полисульфона / Т. П. Дьячкова, Е. П. Редкозубова, З. Г. Леус, А. Г. Ткачев, С. В. Блинов, А. В. Шуклинов, В. Н. Дружинина // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 – С. 1081 – 1086.
- 9 Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. Carbon / H. P. Boehm. – 32. – 1994. – P. 759 – 769.
- 10 Wu, T.-M. Doped polyaniline/multi-walled carbon nanotube composites: Preparation, characterization and properties. Polym. / T.-M. Wu, Y.-W. Lin. – 47. – 2006. – P. 3576 – 3582.
- 11 Аносова, И. В. Исследование закономерностей модифицирования карбоксилированных многослойных углеродных нанотрубок полианилином / И. В. Аносова, Т. П. Дьячкова, А. В. Рухов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 5(313). – С. 163 – 168.

References

- 1 F. A. Rafiqi, K. Majid. Removal of copper from aqueous solution using polyaniline and polyaniline/ferricyanide composite, *J. Environ. Chem. Eng.* 3. – 2015. – P. 2492 – 2501.
- 2 Wang, J. Removal of aqueous Hg(II) by polyaniline: sorption characteristics and mechanisms, *Environ. Sci. Technol / J. Wang, B. L. Deng, H. Chen, X. R. Wang, J. Z. Zheng.* – 43. – 2009. – P. 5223 – 5228.
- 3 Karthik, R., Removal of Pb(II) and Cd(II) ions from aqueous solution using polyaniline grafted chitosan, *Chem. Eng. J. / R. Karthik, S. Meenakshi.* – 263. – 2015. – P. 168 – 177.
- 4 Agarwal, Sh. Synthesis and characteristics of polyaniline/zirconium oxide conductive nanocomposite for dye adsorption application, *J. of Molecular Liquids / Sh. Agarwal, I. Tyagi, V. K. Gupta, F. Golbaz, A. N. Golikand, O. Moradi.* – 128. – 2016. – P. 494 – 498.
- 5 Boomi, P. Synthesis, characterization and antibacterial activity of polyaniline/Pt-Pd nanocomposite / P. Boomi, H. G. Prabu, J. Mathiyarasu // *European Journal of Medicinal Chemistry.* – 72. – 2014. – P. 18 – 25.
- 6 Sapurina, I. Yu. Polyaniline and its composites as sorbents of influenza viruses, *Polym. Sci. / I. Yu. Sapurina, M. V. Ivanova, V. T. Ivanova, E. I. Burtseva, S. V. Trushakova, E. I. Isaeva, E. S. Kirilova, Ya. E. Kurochkina, A. A. Manykin, L. V. Uryvaev.* – A. 56. – 2014. – P. 450 – 458.
- 7 Dyachkova, T. P. The Study of Absorption of Copper and Nickel Ions by Polyaniline and its Nanocomposite with Carbon Nanotubes, *Transactions of TSTU / T. P. Dyachkova, A. V. Melezhyk, Zh. G. Morozova, A. V. Shuklinov, A. G. Tkachev.* – 18. – 2012. – P. 1067 – 1073.
- 8 Дьячкова, Т. П. Влияние модификации функционализированными углеродными нанотрубками на свойства полисульфона / Т. П. Дьячкова, Е. П. Редкозубова, З. Г. Леус, А. Г. Ткачев, С. В. Блинов, А. В. Шуклинов, В. Н. Дружинина // *Фундаментальные исследования.* – 2013. – № 8 – С. 1081 – 1086.
- 9 Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon / H. P. Boehm.* – 32. – 1994. – P. 759 – 769.
- 10 Wu, T.-M. Doped polyaniline/multi-walled carbon nanotube composites: Preparation, characterization and properties. *Polym. / T.-M. Wu, Y.-W. Lin.* – 47. – 2006. – P. 3576 – 3582.
- 11 Аносова, И. В. Исследование закономерностей модифицирования карбоксилированных многослойных углеродных нанотрубок полианилином / И. В. Аносова, Т. П. Дьячкова, А. В. Рухов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2015. – № 5(313). – С. 163 – 168.

УДК 667.287.5-44
ББК 24.2

Кондракова Е. Ю.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ДЕРИВАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ФТАЛОЦИАНИНА КОБАЛЬТА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

Kondrakova E. Yu.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

DERIVATOGRAPHICAL THE STUDY OF THE PROCESS OF OBTAINING OF COBALT PHTHALOCYANINE AND ITS DERIVATIVES

Аннотация. Представлены результаты дериватографических исследований мононатриевой соли хлорфталевой кислоты и ее взаимодействий с фталевым ангидридом и карбамидом, синтеза хлорсодержащего фталоцианина кобальта в присутствии катализатора молибдата аммония. Установлена экспериментально возможность совмещения процесса получения фталимида и его хлорпроизводных в смесителях с Z-образными лопастями мешалки.

Ключевые слова: дериватография; хлорсодержащий фталоцианин кобальта; смеситель с Z-образными лопастями мешалки.

Abstract. Presents the results of research derivatographical monosodium salt gliftalevoj acid and its interactions with phthalic anhydride and urea, the synthesis of chlorine-containing cobalt phthalocyanine in the presence of a catalyst of ammonium molybdate. Established experimentally the possibility of combining the process of obtaining phthalimide and its chlorinated derivatives in the mixers with Z-shaped blades of the agitator.

Keywords: derivatography; the chlorine-containing cobalt phthalocyanine; mixer with Z-shaped mixing paddles.

Особенностью получения фталоцианина кобальта, используемого в качестве катализатора процесса очистки углеводородного сырья от сероводорода и меркаптанов, является то, что его редко получают из готового фталоцианинового лиганда [1]. Обычно синтез ведут из фрагментов молекулы: фталимида, фталевого ангидрида, динитрила фталевой кислоты, дииминоизоиндолина и других производных о-фталевой кислоты в присутствии источников азота (аммиака или карбамида) и ионов металла (ацетатов, хлоридов, оксидов металлов). Катализатором служит молибдат аммония, оксид мышьяка (V) либо борная кислота. Химические реакции ведут в расплаве твердой смеси сухих реагентов при температуре 135...295 °С (метод спекания) или в инертном высококипящем разбавителе. В качестве последнего могут быть применены о-дихлорбензол, три-

хлорбензол, нитробензол, парафины $C_{12} - C_{16}$, циклогексанон, полиалкилхлорбензол и др. Существует много работ, в которых рассматриваются методы синтеза фталоцианинов, но механизм их получения изучен не полностью. Принято, что образование фталоцианина идет через стадию образования о-динитрила, четыре молекулы которого образуют фталоцианин в присутствии катиона металла [2].

В работе [3] приводится описание способа получения фталоцианина меди в последовательности: фталимид, дифталамид, о-цианбензамид, 1-имино-3-кетоизоиндолин, фталоцианин меди. Но в литературе отсутствует описание возможной в промышленных условиях технологии получения фталоцианинового катализатора сероочистки нефтепродуктов из доступного сырья – фталевого ангидрида, карбамида, хлорида аммония.

Было решено изучить возможность использования производных о-фталевой кислоты в качестве фрагментов молекулы фталоцианина кобальта. Это позволит вводить различные заместители в молекулу фталоцианина кобальта для увеличения его каталитической активности [4 – 6].

Для всех способов синтеза фталоцианинов характерно достаточно высокая температура проведения процесса. Поэтому представляется важным изучить поведение исходных веществ, промежуточных компонентов, конечного продукта и процесса их взаимодействия при повышенных температурах.

Получение фталоцианина кобальта из фталевого ангидрида представлено уравнением (1):



а из производных о-фталевой кислоты – уравнением (2):



Совмещение в одном процессе данных синтезов позволит получать фталоцианины с различным количеством заместителей. Кроме того, проведение нескольких процессов в одном аппарате является одним из способов реализации энерго- и ресурсосберегающих технологий, так как отсутствуют межоперационные транспортировки, которые в свою очередь представляют собой довольно сложную операцию для высокотоксичных пожароопасных реакционных масс в периодических процессах.

В опубликованной ранее работе представлены результаты термогравиметрического исследования карбамида и фталевого ангидрида [7], продуктом взаимодействия которых является фталимид.

В настоящей работе ставится цель изучить дериватографически свойства мононатриевой соли хлорфталевой кислоты (МНСХК), процесса ее взаимодействия с фталевым ангидридом и карбамидом, а также получение хлорсодержащего фталоцианина кобальта в присутствии катализатора молибдата аммония.

Методика эксперимента. Исследования проводили на дериватографе фирмы «МОМ» (Венгрия) в керамических тиглях в динамическом режиме нагрева со скоростями 5 и 10 °С/мин от комнатной температуры до 300 °С в атмосфере воздуха. Чувствительности гальванометров дифференциального термического анализа (DТА) – 1/5

и 1/10; шкала термогравиметрического анализа (TG) – 500 и 200 мг. Элементный анализ был выполнен по методике, представленной в [8].

Результаты и их обсуждение. Было определено, что МНСХК разлагается при плавлении. Температура начала активного разложения равна 185 °С (потеря массы 4,69%). Наибольшая скорость разложения была установлена при температуре 250 °С, а при 280 °С разложение продукта оканчивается с потерей первоначальной массы 37,5%.

В отличие от процесса получения фталимида, протекающего с выделением тепла при температуре 145...155 °С в расплаве, на дериватограмме смеси карбамид:МНСХК не найдено явно выраженного эндотермического эффекта плавления компонентов. На дериватограммах исходных веществ наблюдаемый с температуры около 130 °С растянутый эндоэффект с максимальным значением при температуре 158 °С отсутствует. Ему соответствует убыль массы 19,5%, равная количеству выделяющихся углекислого газа и воды в процессе образования хлорфталимида натрия.

Возможность совмещения в одном процессе получения фталимида и хлорфталимида с последующим синтезом фталоцианина с различным числом хлора в качестве заместителя во внешнем кольце была определена при анализе дериватограмм тройных смесей карбамид:фталевый ангидрид:МНСХК, взятых в мольных соотношениях 0,51:0,75:0,25; 0,51:0,5:0,5 и 0,51:0,25:0,75. Подтвердили эту возможность результаты элементного анализа образцов продуктов.

На лабораторном смесителе вместимостью 1 дм³ с масляным обогревом были проверены результаты исследований, а также оценена возможность синтеза фталоцианинов сухим способом в тяжелых смесителях с Z-образными лопастями. Исходные вещества загружались в разогретый до 80 °С смеситель и дальнейшее нагревание велось со скоростью 30 °С/ч до температуры 200 °С. В центр смесительной камеры была введена термопара для оценки тепловых эффектов. Мощность, потребляемая на перемешивание, рассчитывалась как произведение разности показаний амперметра в момент измерения и на холостом ходу (1,3 А) на напряжение. Содержание фталимида определялось титриметрически (0,5N раствором гидроксида натрия).

1. Элементный состав продуктов взаимодействия карбамид:фталевый ангидрид:МНСХК

Содержание, %		Мольное соотношение карбамид:фталевый ангидрид:МНСХК				
		0,51:1,0:0	0,51:0,75:0,25	0,51:0,5:0,5	0,51:0,25:0,75	0,51:0:1,0
Сl	Расчетное	0	5,49	10,13	14,04	17,43
	Найденное	Следы	5,32	10,01	14,11	17,31
N	Расчетное	9,53	8,68	7,98	7,38	6,88
	Найденное	9,61	8,70	8,00	7,30	6,90

2. Синтез твердофазным методом фталимида и его производных

Загружено, г/г/моль			Максимальный ток, А	Получено, г	Содержание фталимида, %	Примечание
Карбамид	Фталевый ангидрид	МНСХК				
60,0/1,019	296,2/2,0	0	2,2	292,11	98,8	Обильное вспенивание при 135 °С
60,0/1,019	222,1/1,5	111,3/0,5	2,3	319,68	74,7	Умеренное вспенивание при 138 °С
60,0/1,019	148,1/1,0	222,6/1,0	2,5	347,62	50,9	Небольшое вспенивание при 136 °С
60,0/1,019	74,05/0,5	334,0/1,5	1,9	375,39	26,3	Небольшое вспенивание при 136 °С
60,0/1,019	0	445,1/2,0	1,8	406,81	0,3	Вспенивание отсутствует

В итоге, была подтверждена возможность проведения совмещенного синтеза фталимида и его хлорпроизводных в смесителях с Z-образными лопастями. Во время фазовых превращений не было отмечено существенного увеличения нагрузки на привод. Но отмечено вспенивание реакционной массы.

Объем и устойчивость пены увеличиваются по мере увеличения содержания фталевых ангидридов в реакционной массе (табл. 2).

Список использованных источников

1. Березин, Б. Д. Координационные соединения порфиринов и фталоцианина. – М. : Наука, 1978. – 280 с.
2. Степанов, Б. И. Введение в химию и технологию органических красителей. – М. : Химия, 1971. – 448 с.
3. Ширяева, Л. С. Исследование механизма синтеза фталоцианина меди / Л. С. Ширяева, О. М. Ширяев, В. В. Карнишев, А. С. Омер // Проблемы химии и хим. технологии : докл. IV регион. науч.-техн. конф. / Тамб. гос. ун-т им. Г. Р. Державина. – Тамбов, 2001. – С. 65 – 68.
4. Майзлиш, В. Е. Синтез и физико-химические свойства карбоксизамещенных металлофталоцианинов / В. Е. Майзлиш, Г. П. Шапошников, Ф. П. Снегирева и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 1990. – Т. 33. – Вып. I. – С. 70 – 74.

5. Майзлиш, В. Е. Синтез и исследование новых гомогенных катализаторов процессов сероочистки / В. Е. Майзлиш и др. // ЖПХ. – 1999. – Т. 72, № 11. – С. 1827 – 1832.

6. Мазгаров, А. М. Химические основы процесса демеркаптанизации / А. М. Мазгаров, А. Ф. Вильданов // Транспорт, хранение и переработка меркаптан-содержащих нефтей и газоконденсатов / Всерос. науч.-исслед. ин-т углеводород. сырья. – Казань : 1993. – 321 с.

7. Харченко, Е. Ю. Использование метода дериватографии для исследования синтеза фталоцианинов металлов / Е. Ю. Харченко, Ю. М. Рапопорт, А. Б. Килимник // Труды Тамб. гос. техн. ун-та. – Тамбов, 2005. – Вып. 17. – С. 68 – 72.

8. Климова, В. А. Основные микрометоды анализа органических соединений. – М. : Химия, 1975. – 224 с.

References

1. Berezin, B. D. Coordination compounds of porphyrins and phthalocyanine. – М. : Nauka, 1978. – 280 p.

2. Stepanov, B. I. an introduction to the chemistry and technology of organic dyes. – М. : Chemistry, 1971. – 448 p

3. Shiryayeva, L. S. investigation of the mechanism of the synthesis of copper phthalocyanine / L. S. Shiryayeva, O. M. Shiryayev, V. V. Chernishev, A. S. Omer // Problems of chemistry and chem. technology : proc. IV region. scientific.-tekhn. Conf. / Thumb. GOS. Univ. im. G. R. Derzhavin. – Tambov, 2001. – P. 65 – 68.

4. Maizlish, V. E. Synthesis and physico-chemical properties carboxamide-tion metallophthalocyanines / Maizlish V. E., Shaposhnikov G. P., Snegirev P. F. et al. // Izv. universities. Chemistry and chem. technology. – 1990. – V. 33. – Is. I. – P. 70 – 74.

5. Maizlish, V. E. Synthesis and study of new homogeneous catalysts for the desulphurization process / V. E. Maizlish et al. / JPH. – 1999. – V. 72, N 11. – P. 1827 – 1832.

6. Mazgarov, A. M. The Chemical basis of the process of sweetening / A. M. Mazgarov, A. F. Vildanov // Transport, storage and processing of mercaptan-containing crude oils and condensates / vseros. scientific.-issled. in-t hydrocarbon. raw materials. – Kazan : 1993. – 321 p.

7. Kharchenko, E. Y. the use of the method of derivatography for the study of the synthesis of phthalocyanines of metals / E. Yu. Kharchenko, Yu. Rapoport, A. B., Kilimnick // Proceedings of Tamb. GOS.tehn. Univ. – Tambov : 2005. – V. 17. – P. 68 – 72.

8. Klimova V. A. Basic micromethod analysis of organic compounds / V. A. Klimova. – М. : Chemistry, 1975. – 224 p.

УДК 66.066.2
ББК 35.62

Субочева М. Ю., Орехов В. С.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССА ОТМЫВКИ ПАСТ АЗОПИГМЕНТОВ МЕТОДОМ ДЕКАНТАЦИИ

Subocheva M. Yu., Orehov V. S.
Tambov State Technical University
(Russian, Tambov)

RESOURCE-SAVING WHEN CARRYING OUT PROCESS OF AN OTMYVKA OF PASTES OF AZOPIGMENTS BY DECAN TATION METHOD

Аннотация. Приведен метод удаления водорастворимых солей из суспензии органических пигментов обуславливающий уменьшение сточных вод без потери качественных показателей продуктов.

Ключевые слова: водорастворимые соли; декантация; колористическая концентрация

Abstract. The method of removing soluble salts from the slurry of organic pigments may influence the reduction of waste water without loss of product quality indicators

Keywords: water-soluble salts; decantation; coloristic concentration.

В процессе производства пигментов на предприятиях анилиноокрасочной промышленности образуется большое количество сточных вод. Например, при производстве 1 т пигмента оранжевого Ж в реакциях диазотирования и азосочетания участвует около 25 т воды. После проведения азосочетания суспензия пигмента подается на фильтр прессы, где происходит его отмывка от водорастворимых примесей, образовавшихся в процессе реакций. Для проведения промывки расходуется 120 т артезианской воды. С промывными водами из пасты пигмента удаляется около 400 кг NaCl, 100 кг HCl более 100 кг других побочных продуктов. После промывки вода поступает в заводские пруды-накопители.

Наряду с созданием оптимального режима процесса производства, необходимо обеспечить минимальный расход воды при сохранении требуемого качества азопигментов.

Основным качественным показателем выпускных форм пигментов и красителей является колористическая концентрация (относительная красящая способность), представляющая собой способность пигмента при смешении с другими компонентами влиять на цвет полученного готового продукта и зависящая от многих факторов: форма кристалла, состав химических элементов входящих в структурную формулу, пространственное строение молекулы, гранулометрический состав кристаллов, состав и концентрация примесей.

Большое влияние на свойства пигментов оказывают различного рода примеси. Так наличие солей в пастах пигментов, образующихся на стадии синтеза, влияет на интенсивность полос поглощения, следовательно, на колористическую концентрацию и приводит к снижению качественных показателей продукта, что недопустимо, поэтому необходимо найти технологические решения для удаления такого рода примесей.

В качестве основных методов удаления водорастворимых солей из осадков можно применяются: репульпация, промывка на фильтре, декантация.

Декантация – лабораторный и технический способ промывания аморфных осадков, позволяющий удалить маточный раствор более полно, чем при промывании осадка на фильтре. Суть метода – сливание жидкости с отстоявшегося осадка, метод является одним из самых простых и бережных к структуре кристаллов методов очистки.

В лабораторных условиях, как и в условиях гибкого мелкосерийного много ассортиментного производства декантацию можно осуществлять непосредственно в аппарате для азосочетания, так как лимитирующей является стадия диазотирования.

Было замечено, что при вводе в промывные воды тонкодисперсных порошков металлов происходит увеличение скорости разделения фаз азопигмент/вода и повышение растворимости солей в декантате [1]. Также улучшение этих показателей наблюдалось при использовании талой воды или при пропускании воды через слой углеродного сорбента (УС) [2].

Вносимые тонкодисперсные порошки металлов имеют размер частиц 50...100 нм, также применялись мицелярные растворы в органическом растворителе с размерами частиц 3...5 нм [2]. Полученный положительный эффект от промывки достигался при внесении в промывные воды 0,000005% (масс) наноматериалов, малый процент ввода а также положительный эффект при отмывке талой водой привели к объяснению полученного результата изменением свойств растворителя за счет его переструктуризации.

В качестве исходного образца формирования новых видов промывных вод и эталона сравнения использовался дистиллят. Для получения вод различной степени очистки применялись: замораживание, воздействие различными наноуглеродными структурами [1]. В качестве контроля за процессом изменения структуры воды проводили измерение ее электрической проводимости, плотности, поверхностного натяжения.

Демонстрация результатов экспериментов приводиться на примере пигмента оранжевого Ж (pigment orange 13 № 21110). Суспензия пигмента отстаивалась, фильтрат декантировался, отмывку сформировавшейся пасты вели шестикратными объемами воды равными объему пасты с добавлением нанометаллов. Декантат анализировали на наличие водорастворимых примесей методом определения удельной электрической проводимости раствора, на анализаторе жидкости PP-50 фирмы Sartorius AG, так как эта величина характеризует количество растворенных солей, а динамика процесса показывает эффективность отмывки паст водой различной структуры.

На основе анализа результатов экспериментальных исследований, представленных в табл. 1 и 2, была рекомендована вода, которая обеспечивала максимальную растворимость солей, выведение их из паст пигментов при промывке и, как следствие, гарантировала высокую колористическую концентрацию пигмента.

1. Электропроводность промывных вод ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

№ опыта	Артезианская вода	Талая артезианская вода	Артезианская вода, пропущенная через УС
Исходный фильтрат	19800	19800	19800
1 промывка	6534	6468	7194
2 промывка	2580	2904	2772
3 промывка	1320	1386	1234,2
4 промывка	891	838,2	765,6
5 промывка	667	792	660
6 промывка	594	554,4	429

2. Влияние степени очистки воды на колористическую концентрацию азопигментов

Тип очищенной воды	Относительная красящая способность, I %	Содержание солей в пасте пигмента, % масс.	Электропроводность пасты пигмента, $\mu\text{S}/\text{cm}$
Артезианская вода	103,4	0,026	138,6
Талая артезианская вода	104,5	0,022	114,2
Артезианская вода, пропущенная через УС	105,8	0,020	104,9

Наноматериалы, введенные в любую из сред, изменяют ее свойства. Растворимость солей в водах разных видов увеличивается за счет введения элементов первой, шестой и восьмой групп периодической системы Д. И. Менделеева в наноструктурной форме. Результаты исследований по влиянию нанодобавок на растворимость примесей в промывной воде с наноматериалами представлены в табл. 3, 4 и 5.

3. Влияние наличия нанометаллов в промывных водах на растворимость солей

	Артезианская вода	Au	Ag	Cu	Ni	Fe	Ni, Cr
	Содержание солей, % масс., в промывной воде						
Исходный фильтрат	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
1 промывка	0,72	0,52	0,53	0,55	0,62	0,53	0,50
2 промывка	0,16	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09	0,07
3 промывка	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
4 промывка	0,06	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03

**4. Влияние присутствия наноматериалов в промывной воде
на ее электропроводность**

	Артезианская вода	Au	Ag	Cu	Ni	Fe	Ni, Cr
Электропроводность, μS , в промывной воде							
Исходный фильтрат	19800	19800	19800	19800	19800	19800	19800
1 промывка	9160	8172	8250	8712	9702	8282	7788
2 промывка	3900	1504,8	1320	1419	1392	1426	1174,8
3 промывка	1162	732,6	693	633,6	706,2	645	534,6
4 промывка	920	607,2	574,2	528	594	521,4	448,8

**5. Влияние присутствия наноматериалов в промывной воде
на колористическую концентрацию азопигментов**

	Относительная красящая способность, $I\%$	Содержание солей в пасте пигмента, % масс.	Электропроводность пасты пигмента, $\mu S/cm$
По существующей технологии	101,4	0,0074	150
С применение нано–Au	103,3	0,0048	77,5
С применение нано–Ag	103,2	0,0065	102,9
С применение нано–Cu	103,1	0,0064	101,6
С применение нано–Ni	104,9	0,0055	88,4
С применение нано–Fe	106,2	0,0055	88,4
С применение нано–Ni, Cr	106,5	0,0056	89,8

Из представленных табл. 4 и 5 видно, что применение воды различных видов с наноматериалами позволяет значительно уменьшить число промывок для достижения необходимого содержания водорастворимых солей по сравнению с обычной водой (три промывки вместо пяти–шести).

Наибольшая эффективность по удалению водорастворимых солей (NaCl) из паст азопигментов получена на материалах шестой и восьмой групп, как и наилучшая колористическая концентрация (табл. 6).

Анализ полученных результатов позволяет оценить эффективность применения наноматериалов, для снижения солесодержания в готовом продукте. В случае использования Ni и Fe пигмент оранжевый Ж содержит наименьшее количество солей и как следствие обладает высокой колористической концентрацией.

6. Колористические показатели пигмента оранжевого Ж

Технология промывки		Инструментальная оценка в разбеле						
		ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔC	ΔH	$I, \%$
Традиционная технология		0,33	-0,24	-0,19	-0,13	-0,23	0,04	101,4
6-кратная промывка артезианской водой		1,00	0,60	-0,71	-0,35	-0,75	0,25	103,4
6-кратная промывка артезианской водой, пропущенной через УС		0,87	-0,4	0,25	0,73	0,69	0,35	105,8
6-кратная промывка артезианской водой пропущенной через УС, содержащей наноматериал	Au	2,386	0,184	1,183	2,063	2,29	0,642	109,3
	Ag	4,402	0,778	2,344	3,644	4,218	0,989	121,4
	Cu	3,691	0,453	2,026	3,028	3,585	0,752	115,94
	Ni	10,09	-1,77	5,3	8,3	9,6	2,36	157
	Fe	10,12	1,95	5,34	8,37	9,64	2,38	159
	Ni, Cr	3,79	1,076	1,723	3,211	3,469	1,115	121,97

Поскольку наличие водорастворимых солей, влияет на колористическую концентрацию азопигментов, то была проведена оценка качественных показателей на примере пигмента оранжевого Ж, результаты которой представлены в табл. 6.

При использовании вод разных видов очистки готовый продукт становится чище и увеличивается его колористическая концентрация ($I = 105,8 \%$).

При использовании нанометаллов на стадии удаления солей, во всех случаях наблюдается повышение значения колористической концентрации ($I, \%$), красящей способности и оттенка. Наибольшая эффективность использования промывной воды и нанодобавок достигается при использовании металлов Ni и Fe.

Результаты экспериментальных исследований доказали влияние вида промывной воды и наноматериалов на улучшение качественных характеристик органических пигментов и растворимость солей в пастах органических пигментов.

Предлагаемый метод удаления водорастворимых солей позволяет использовать отработанные промывные воды с третьей стадии процесса декантации и последующих на первой и следующих повторно без предварительной очистки. Общее сокращение количества потребляемой воды для промывки пигмента и количество сточных вод сокращается в 4 раза по сравнению с промывкой на фильтрах.

Список использованных источников

1. Егорова, Е. М. Растворы наночастиц металлов и модифицированные ими материалы: свойства и применение [Текст] // Нанотехнологии – производству 2005 : тр. междунар. науч.-практ. конф. Фрязино, Моск. обл., 30 нояб. 1 дек. 2005 г. – 2005. – С. 26 – 32.

2. Пухаренко, Ю. В. Эффективность активации воды затворения углеродными наночастицами [Текст] / Ю. В. Пухаренко, И. У. Аубакирова, В. Д. Староверов // Инженерно-строительный журн. – 2009. – № 1. – С. 40 – 45.

References

1. Egorova, E. M. Solutions of metal nanoparticles and their modified materials: properties and applications [Text] // Nanotechnology – production 2005 : tr. Int. scientific-practical. Conf. Fryazino, Mosk. reg., 30 noyab. – December 1. 2005. – 2005. – P. 26 – 32.

2. Puharenko, Y. V. Efficiency of activation of water mixing with carbon nanoparticles [Text] / Y. V. Puharenko, I. U. Aubakirova, V. D. Staroverov // Civil Engineering Journal. – 2009. – N 1. – P. 40 – 45.

УДК 629. 4. 082. 3
ББК К 663.2

Афонин В. В., Дьяков И. А.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

Afonin V. V., Dyakov I. A.
Tambov State Technical University
(Russian, Tambov)

THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE WEAR RESISTANCE COATING FOR THE ELECTRIC CONTACTS

Аннотация: Произведен анализ структуры пиролитических покрытий хрома с точки зрения увеличения износостойкости электрических контактов.

Ключевые слова: контакты электрических аппаратов; износостойкость электрических контактов; термическое разложение металлоорганических соединений хрома.

Abstract: The determination make of the structure of the pyrolysis coating of the chromium with the point of the sight the increase of the wear resistance of the electric contacts.

Keywords: contacts of electric switchgears; durability of electric contacts; thermal decomposition of metal organic compounds of chrome; methods deposition of coatings; technological parameters.

Высокие физико-механические свойства хромовых покрытий, предлагаемых для износостойкости контактных узлов, связаны со структурой получаемых осадков, которая находится в функциональной зависимости от режимов осаждения [1].

Металлографическим анализом на поперечных шлифах силумина АЛ9 с покрытием при травлении в 50% растворе кипящей серной кислоты обнаружено, что, во-первых, при различных параметрах процесса напыления образующиеся покрытия имеют сложную структуру; во-вторых, при повышенных значениях температур подложки и испарителя, а также давления в реакторе наблюдается появление столбчатых структур с характерной слоистостью, так как динамические условия благоприятствуют образованию и росту больших по объему критических зародышей.

Столбчатые структуры имеют плохую связь вдоль покрытия, и поэтому такой слой является хрупким, хотя отдельные «столбы» достаточно прочны. Поэтому режимы, дающие такие структуры в наносимом покрытии, необходимо применять в исключительных случаях.

Слоистая структура пиролитических хромовых покрытий возникает в результате разнообразных физико-химических процессов при техническом воздействии на хромосодержащую органическую жидкость «БАРХОС». Главная причина этого явления заключается в дозированной подаче металлоорганического соединения (МОС) хрома в испаритель.

Второй причиной слоистой структуры является колебания температуры подложки и давления в реакторе.

Механизм периодического режима осаждения хромового покрытия из газовой среды проявляются в следующей последовательности: в первые моменты времени при распаде молекул хромосодержащей жидкости и сопутствующих углеводородов в жидкости «БАРХОС» вызывают уменьшение концентрации МОС вблизи подложки и образуются продукты распада. Это является следствием различия скоростей массопереноса МОС и скорости увеличения объема продуктов распада в объеме реактора. Увеличение количества продуктов разложения приводит к росту их концентрации на формирующемся покрытии, а это, в свою очередь, способствует легированию покрытия хромом. Увеличения количества продуктов разложения при пиролизе жидкости «БАРХОС» и вакуумировании реактора приводит к к росту в нем концентрации хромосодержащих фракций. Процесс формирования покрытия ускоряется, и цикл повторяется; периодическое варьирование концентрации МОС и продуктов распада при формировании покрытия создают в нем послойную структуру с различным содержанием хрома – темные участки характеризуются более высоким содержанием углерода в отличие от светлых. Каталитические эффекты выделяющегося металла способствуют колебательному процессу. Уменьшение концентрации МОС в паровой фазе за счет конденсации насыщенного пара МОС создает благоприятные условия для колебательного режима [2].

Адсорбция и хемосорбция продуктов распада являются чувствительными и к изменениям температуры подложки, на поверхности которой происходит формирование покрытия. Поэтому достаточно большие (10...30 °С) колебания температуры приведут к изменениям скорости адсорбции и хемосорбции продуктов, а, следовательно, к образованию слоистой структуры. Общей причиной изменения температурного режима подложки является эндотермичность процесса распада МОС.

Список использованных источников

1. Афонин, В. В. Установка для повышения износостойкости контактных материалов электрических аппаратов / В. В. Афонин, И. Н. Акулинин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 467 – 470.
2. Афонин, В. В. Выбор технологических параметров процесса газофазного осаждения хромовых покрытий на контактные детали электрических аппаратов / В. В. Афонин, Ж. А. Зарандия, И. Н. Акулинин // Вести. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 571 – 574.

References

1. Afonin, V. V. Installation for increasing the wear resistance of the contact materials of electric vehicles / V. V. Afonin, I. N. Akulinin / Transactions of the Tambov State Technical University. – 2012. – Т. 18, N 2. – P. 467 – 470.
2. Afonin, V. V. Selection of technological parameters of the gas-phase deposition process chromium coatings on the contact details of the electrical devices / V. V. Afonin, J. A. Zarandia, I. N. Akulinin / Transactions of the Tambov State Technical University. – 2011. – Т. 17, N 2. – P. 571 – 574.

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ, БИОЛОГИЧЕСКОЙ, МЕДИЦИНСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 66.074.52

ББК 24.54

Плотников М. Ю., Дворецкий С. И., Дорохов Р. В.
НОЦ «Новые химические технологии»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ» – ОАО «Корпорация «Росхимзащита»
(Россия, г. Тамбов)

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПРОДУКТА РПК-П

Plotnikov M. Yu., Dvoretzky S. I., Dorokhov R. V.
Research educational center “New engineering chemistries”,
Tambov State Technical University – OJSC “Corporation “Roskhimzaschita”
(Russia, Tambov)

KINETICS OF PROCESS OF AIR'S REGENERATION WITH USE OF THE REGENERATIVE PRODUCT RPK-P

Аннотация. Проведено экспериментальное исследование кинетики взаимодействия регенеративного продукта РПК-П с диоксидом углерода и парами воды при объемной доле диоксида углерода 0,4% и 1,0%, относительной влажности 50% и 95%, объемном расходе газо-воздушной смеси (ГВС) 300, 420 и 540 дм³/ч, соответственно. Установлено, что при переувлажнении хемосорбента повышается скорость выделения кислорода и уменьшается скорость поглощения диоксида углерода за счет роста диффузионного сопротивления на поверхности хемосорбента. Повышение объемной доли диоксида углерода в ГВС приводит к уменьшению диффузионного сопротивления за счет удаления раствора гидроксида калия с поверхности хемосорбента в ходе реакции карбонизации и образования пористого слоя продуктов реакции.

Ключевые слова: регенерация воздуха, хемосорбция, кинетика, надпероксид калия, диоксид углерода, экспериментальный метод.

Abstract. The experimental research of kinetics of RPK-P regenerative product's interacting with carbon dioxide and water vapour is made at a volume fraction of carbon dioxide 0,4% and 1,0%, a relative humidity of 50% and 95%, a volume flow of an air mix 300, 420 and 540 dm³/hour, accordingly. It is defined that at remoistening chemisorbent speed of oxygen's excretion is raises. Sorbtion speed of carbon dioxide is decrease as the result of growth of diffusive resistance on chemisorbent surface. Raise of a volume fraction of carbon dioxide in an air

mix leads to decrease of diffusive resistance as the result of removal solution of potassium hydroxide's solution on chemisorbent surface during carbonisation reaction and formation of porous layer of reaction products.

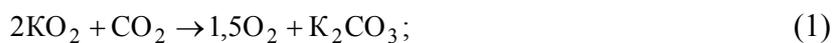
Keywords: air's regeneration, chemisorption, kinetics, potassium superoxide, carbon dioxide, an experimental method.

Для обеспечения возможности пребывания людей в герметично-замкнутом объекте (ГЗО), в качестве которых могут выступать защитные сооружения или герметичные отсеки транспортных средств, широко используют средства химической регенерации воздуха. Процесс регенерации воздуха состоит из трех основных процессов [1, 2]:

- удаление диоксида углерода, образующегося в результате метаболизма человека;
- восполнение объема кислорода, расходуемого человеком;
- удаление вредных примесей.

В данном случае вопрос удаления вредных примесей не рассматривается.

Наиболее дешевым способом осуществления процесса регенерации воздуха является химическая регенерация с использованием надпероксидных соединений щелочных металлов, являющихся основой регенеративных продуктов. Процесс регенерации воздуха регенеративными продуктами на основе надпероксидных соединений щелочных металлов может быть описан следующими основными реакциями, например, для надпероксида калия [3]:



В целом характер взаимодействия зависит от условий и не ограничивается приведенными уравнениями. Регенеративный продукт РПК-П представляет собой пористую пластину, состоящую из осажденных кристаллов надпероксида калия и гидроксида калия на волокнах стекловолонистой матрицы. Он обладает развитой поверхностью и высокой химической активностью, заметно превышающих характеристики регенеративных продуктов, полученных в результате прессования и дробления.

Исследование кинетики взаимодействия регенеративного продукта РПК-П с диоксидом углерода и парами воды проводили на элементарном образце регенеративного продукта, размещенного в потоке ГВС с заданными параметрами. Основной целью исследования являлась качественная оценка работы регенеративного продукта в условиях низкой и высокой влажности при различной объемной доле диоксида углерода и объемном расходе ГВС.

Методика и техника эксперимента. Исследование кинетики проводили экспериментальной установке (рис. 1) с использованием динамической трубки 12 при температуре 22 ± 2 °С в соответствии с планом эксперимента (табл. 1). Установка предназначена для испытания регенеративных продуктов и обеспечивает поддержание параметров ГВС в широком диапазоне величин.

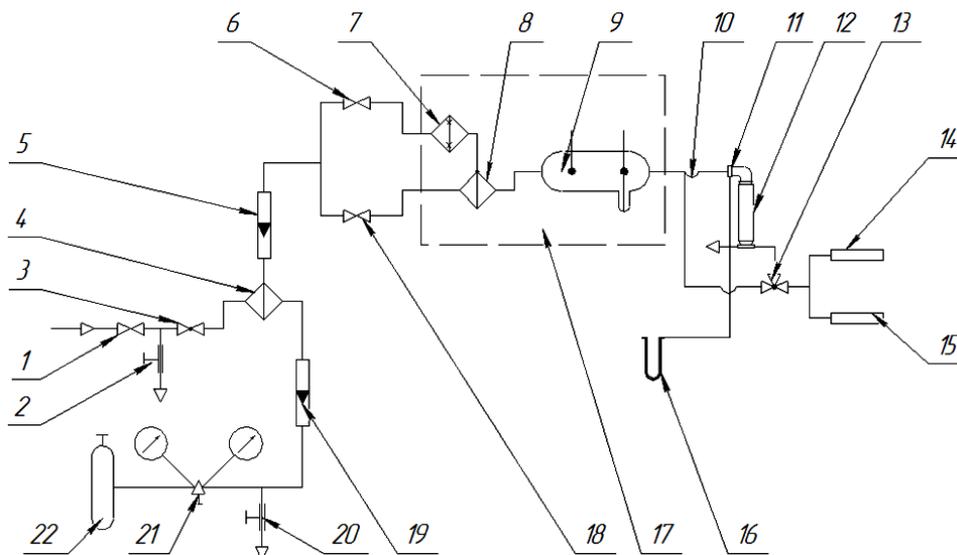


Рис. 1. Схема динамической установки для испытания регенеративных продуктов:

- 1 – вентиль сети; 2, 20 – винтовые зажимы;
 3 – соединительный кран; 4, 8 – смесители; 5, 19 – расходомеры;
 6, 18 – вентили (краны); 7 – увлажнитель; 9 – психрометр; 10 – соединительная трубка;
 11 – ниппель; 12 – динамическая трубка; 13 – трехходовой кран; 14, 15 – газоанализаторы;
 16 – мановакуумметр; 17 – термостат-увлажнитель; 21 – редуктор;
 22 – баллон с диоксидом углерода

Эксперимент проводили следующим образом:

- а) согласно плану эксперимента (табл. 1) выводили установку на соответствующий режим;
- б) в динамическую трубку помещали образец регенеративного продукта массой порядка $1,9 \pm 0,3$ г и размерами 38×60 мм;
- в) трубку с регенеративным продуктом подключали к установке и проводили эксперимент в течение определенного времени;
- г) образец анализировали на содержание химически связанного диоксида углерода и остаточного кислорода.

1. План эксперимента

№ п/п	$V, \text{дм}^3/\text{ч}$	$\varphi, \%$	$C(\text{CO}_2), \%$ об.
1	300	50	0,4
2	300	50	1,0
3	300	95	0,4
4	300	95	1,0
5	420	50	0,4

№ п/п	V , дм ³ /ч	φ , %	$C(\text{CO}_2)$, % об.
6	420	50	1,0
7	420	95	0,4
8	420	95	1,0
9	540	50	0,4
10	540	50	1,0
11	540	95	0,4
12	540	95	1,0

Результаты и обсуждение. На рисунках 2 и 3 представлены экспериментальные кинетические кривые выделения кислорода и поглощения диоксида углерода при объемной доле диоксида углерода в потоке ГВС 0,4 и 1,0% об. соответственно: *a*, *б* – интегральные кривые; *в*, *г* – дифференциальные кривые.

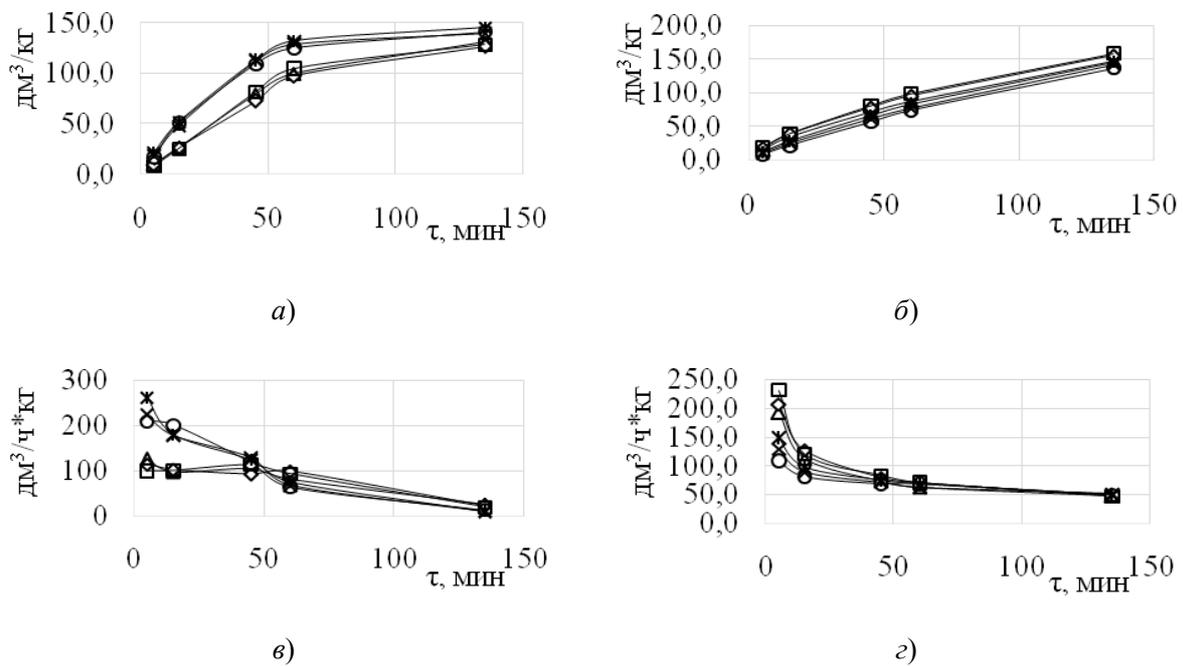


Рис. 2. Результаты экспериментов при объемной доле диоксида углерода 0,4%:

a – интегральная выделения кислорода; *б* – интегральная поглощения диоксида углерода;
в – скорость выделения кислорода; *г* – скорость поглощения диоксида углерода

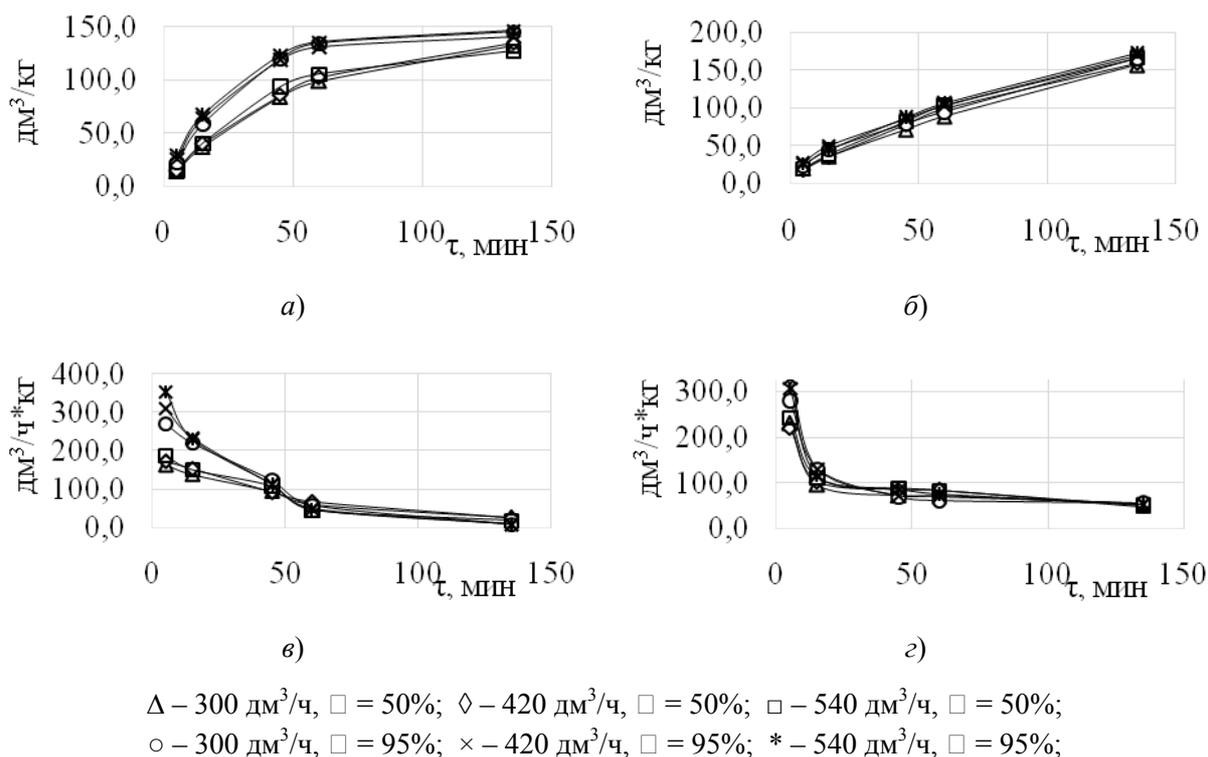


Рис. 3. Результаты экспериментов при объемной доле диоксида углерода 1,0 %:
a – интегральная выделения кислорода; *б* – интегральная поглощения диоксида углерода;
в – скорость выделения кислорода; *г* – скорость поглощения диоксида углерода

Влияния объемного расхода ГВС. Объемный расход ГВС варьировался в диапазоне от 300 до 540 $\text{dm}^3/\text{ч}$. При этом он практически не оказывал влияния на скорость процессов поглощения диоксида углерода и выделения кислорода, за исключением первых 15 мин времени эксперимента, где можно проследить дифференцирование результатов. В дальнейшем кинетические кривые процессов накладываются и практически неотличимы.

Влияние объемной доли диоксида углерода и относительной влажности ГВС. Данные два параметра необходимо рассматривать совместно. Так как согласно уравнениям химических реакций (1) – (4) они одновременно взаимодействуют с надпероксидом калия.

Анализ кинетических кривых показывает, что скорость процесса выделения кислорода в наибольшей степени зависит от влагосодержания ГВС. При увеличении влагосодержания наблюдается резкое увеличение скорости вплоть до 45 мин. При увеличении объемной доли диоксида углерода происходит также увеличение скорости процесса выделения кислорода во всем диапазоне относительной влажности. Однако наибольшее увеличение наблюдается в первые 15 мин. Степень отработки регенеративного продукта по кислороду в конце эксперимента соответствует $\approx 95\%$ для обоих случаев.

Процесс поглощения диоксида углерода в отличие от выделения кислорода в большей степени зависит от величины объемной доли диоксида углерода. При увеличении объемной доли диоксида углерода скорость процесса резко возрастает, что явно

наблюдается в первые 15 мин. Стоит отметить различный характер кривых скорости процесса поглощения диоксида углерода в зависимости от относительной влажности. Так при объемной доле диоксида углерода равной 0,4% скорость поглощения выше (при относительной влажности 50%) чем при 95%. Это вызвано увлажнением регенеративного продукта и образованием избыточного количества раствора гидроксида калия, за счет чего происходит повышение сопротивления диффузии диоксида углерода во внутренние непрореагированные слои хемосорбента. При увеличении объемной доли диоксида углерода избыточный раствор гидроксида калия удаляется в результате реакции карбонизации и снижения скорости поглощения диоксида углерода не происходит.

Список использованных источников

1. Гладышев, Н. Ф. Регенеративные продукты нового поколения: технология и аппаратное оформление : монография / Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин, М. А. Ульянова, Ю. А. Ферাপонтов. – М. : Изд-во Машиностроение-1, 2007. – 156 с.
2. Дворецкий, С. И. Основы математического моделирования и оптимизации процессов и систем очистки и регенерации воздуха : учебное пособие / С. И. Дворецкий, С. В. Матвеев, С. Б. Путин, Е. Н. Туголуков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 324 с.
3. Вольнов, И. И. Перекисные соединения щелочных металлов. – М. : Наука, 1980. – 160 с.

References

1. Gladyshev, N. F. Regenerative products of new generation: production engineering and hardware decor : the monography / N. F. Gladyshev, T. V. Gladysheva, S. I. Dvoretzky, S. B. Putin, M. A. Ulyanova, J. A. Ferapontov. – M. : Mashinostroenie-1, 2007. – 156 p.
2. Dvoretzky, S. I. Bases of mathematical modelling and optimization of processes and systems of purification and air regeneration : the manual / S. I. Dvoretzky, S. V. Matveev, S. B. Putin, E. N. Tugolukov. – Tambov : TSTU, 2008. – 324 p.
3. Volnov, I. I. Peroxidases of alkali metals. – M. : Science, 1980. – 160 p.

УДК 004.4
ББК 74

Алексеев С. Ю., Болтнев Ю. В.
ОАО «Корпорация «Росхимзащита»
(Россия, г. Тамбов)

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РУКОВОДСТВ НА ИЗОЛИРУЮЩИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Alekseev S. Yu., Boltnev Yu. V.
OJSC Corporation “Roshimzaschita”
(Russia, Tambov)

BUILDING INTERACTIVE TECHNICAL MANUAL FOR THE ISOLATING RESPIRATORY DEVICES

Аннотация. В работе рассматривается построение интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) на изолирующие дыхательные аппараты с химически связанным кислородом. Использование ИЭТР обеспечит наглядное представление информации о конструкции изолирующих дыхательных аппаратов, протекающих в них процессах и особенностях их работы. Разработка ИЭТР на самоспасатель СПИ-20 позволит повысить защищенность гражданского населения при возникновении аварий на общественных объектах.

Ключевые слова: интерактивные обучающие системы; изолирующие дыхательные аппараты; компьютерные системы моделирования.

Abstract. The paper deals with the construction of interactive electronic technical manuals (IETM) in the isolating respiratory devices with chemical lybound oxygen. Using IETM will provide a visual representation of the design information contained isolating respiratory devices, occurring in these processes and how they interact. Developing self-rescuer IETM on SPI-20 will enhance the security of the civilian population at occurrence of accidents at public objects.

Keywords: interactive tutorials system; isolating respiratory devices; computer modeling system.

Для получения теоретических знаний по правилам правильного использования изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом эффективно может быть использовано интерактивное электронное техническое руководство (ИЭТР). Его использование обеспечивает представление информации в наглядной форме, что в свою очередь повышает эффективность учебного процесса, сокращение времени обучения при одновременном повышении уровня знаний, адаптивное управление процессом обучения, освобождение преподавателя от ряда ресурсоемких операций.

Существующий уровень развития информационных технологий обеспечивает широкий спектр возможностей для разработки новых методов и средств представления обучающей информации. Это в первую очередь инструменты и библиотеки для разработки 2D и 3D приложений, средства моделирования физических объектов, например, PhysX (NVIDIA).

В 2015 году в ОАО «Корпорация «Росхимзащита» было разработано ИЭТР на шахтный самоспасатель с временем защитного действия 30 мин – ШС-30. Оно позволяет не только наглядно представлять конструкцию самоспасателя, но и ознакомить пользователя с правилами его эксплуатации за счет визуализации основных процессов, протекающих в самоспасателе.

В настоящий момент разрабатывается новое ИЭТР на серийно выпускаемый самоспасатель для гражданского населения СПИ-20. В ходе работы проводятся исследования по увеличению производительности разрабатываемого приложения, осуществлению переносимости между ПК без предварительной установки. Так же проводятся исследования, направленные на адаптацию интерфейса пользователя под использование с сенсорными панелями.

Изолирующий самоспасатель СПИ-20 в первую очередь ориентирован на использование гражданским населением на общественных объектах и предприятиях. Основной особенностью здесь является то, что затруднена возможность организации обучающих курсов и тренировок. Исходя из этого, разработка ИЭТР ведется в направлении адаптации представляемой информации для людей, в профессиональные навыки которых не входит обязательное владение самоспасателем. При разработке интерфейса пользователя упор делается на доходчивое изложение обучающего материала, предоставление широкому классу пользователей информации о способах и средствах защиты органов дыхания, поведения в аварийных ситуациях, правилах и особенностях использования, изолирующих самоспасателей.

Структура программного обеспечения ИЭТР реализована так, чтобы на бытовых компьютерах и мобильных устройствах обеспечивать визуальное моделирование процессов запуска самоспасателя, работы его подсистем на различных нагрузках при различных условиях окружающей среды. Высокая эффективность работы ИЭТР достигается в том числе за счет использования специализированного программного обеспечения, поддерживающего работу на базе современных браузеров Chrome, FireFox, Opera, Internet Explorer. Это также позволяет осуществлять отдельное использование учебных модулей, входящих в состав ИЭТР для демонстрации, а также избежать процедуры установки ИЭТР на компьютер и его хранения на локальном рабочем месте.

Визуализация процессов, протекающих в рабочей части самоспасателя осуществляется на основе значений, полученных путем расчета по математической модели. Это значительно повышает точность, гибкость и качество представляемой информации.

Разрабатываемый ИЭТР обладает адаптированным для неподготовленных пользователей интерфейсом, обеспечивающим удобную работу для людей различных возрастных категорий, с возможностью использования на сенсорных устройствах. Используемая модульная структура ИЭТР, позволяет добавлять и масштабировать, в зависи-

мости от потребностей пользователей, программные элементы. Визуализация процессов, протекающих в рабочей части самоспасателя основана на методах математического моделирования, что значительно повысит точность, гибкость и качество представляемой информации.

По завершении работы с ИЭТР обучающемуся дополнительно предлагается пройти тест полученных теоретических знаний подготовки, обучающийся проходит тестовый контроль знаний. Тестирование осуществляется по средствам выборки из базы заранее подготовленных вопросов. Вопросы делятся на подкатегории: эксплуатация, хранение, назначение, эксплуатационные характеристики, порядок включения. Из каждой категории случайным образом выбирается несколько вопросов, которые и образуют индивидуальный тест.

Список использованных источников

1. Гудков, С. В. Современные подходы к обучению правилам использования изолирующих средств индивидуальной защиты органов дыхания с химически связанным кислородом / С. В. Гудков, С. Ю. Алексеев // Комплексная безопасность 2015 : тезисы докл. к конф.

2. Гудков, С. В. Инновационные подходы к повышению и оценке уровня профессиональной подготовки промышленного персонала / С. В. Гудков, С. Ю. Алексеев // Актуальные проблемы промышленной безопасности в горнорудной, угольной и металлургической промышленности : тезисы докл. к конф.

References

1. Gudkov, S. V. Modern approaches to learning the rules of the use of isolation of personal respiratory protection with chemically bound oxygen / S. V. Gudkov, S. Y. Alekseev // the conference "Integrated Security 2015".

2. Gudkov, S. V. Innovative approaches to improving and assessing the level of training of industrial personnel / S. V. Gudkov, S. Yu. Alekseev // the conference "Actual problems of industrial safety in mining, coal and steel industry".

Михина А. В., Горбунов А. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

БИОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ИНФАРКТА МИОКАРДА В СОВРЕМЕННОЙ КАРДИОЛОГИИ

Mikhina A. V., Gorbunov A. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

BIOCHEMICAL MARKERS OF MYOCARDIAL INFARCTION IN MODERN CARDIOLOGY

Аннотация. Из-за продолжающегося роста смертности от сердечно-сосудистых заболеваний оценка прогноза при остром коронарном синдроме (ОКС) остается одной из главных задач. Для диагностики и прогнозирования ОКС используются биохимические маркеры. Идеальный маркер должен обладать высокой специфичностью и чувствительностью, быстро достигать в крови диагностически значимого уровня после начала симптомов инфаркта миокарда и сохраняться в течение нескольких дней. Показателя, полностью отвечающего всем этим требованиям, не существует. В связи с этим продолжают исследования по поиску новых маркеров. В данной статье рассмотрены биохимические маркеры, которые могут использоваться в современной кардиологии.

Ключевые слова: инфаркт миокарда, острый коронарный синдром, лабораторные маркеры, прогноз.

Abstract. In view of the continuing increase in mortality from cardiovascular disease assessment of prognosis in acute coronary syndrome (ACS) is one of the most important tasks. For the diagnosis and prognosis of ACS widely used biochemical markers. An ideal marker should have high specificity and sensitivity, rapidly achieve a diagnostically significant level of blood after the start of symptoms of myocardial infarction and persist for several days. Indicator, fully meets all these requirements do not exist. Therefore, research continues to find new markers. This article discusses biochemical markers that can be used in modern cardiology.

Keywords: myocardial infarction, acute coronary syndrome, laboratory markers, prognosis.

С-реактивный белок (СРБ) – это один из наиболее изученных маркеров воспаления. Но он не является прямым показателем инфаркта миокарда (ИМ). Его рекомендуется использовать при скрининговом обследовании пациентов с риском развития ССЗ. Повышение уровня СРБ у здоровых людей связано с повышенным риском развития ОКС: показатель СРБ менее 1 мг/л свидетельствует о низком, 1...3 мг/л – о среднем и более 3 мг/л – о высоком риске [1]. Выявлен высокий уровень СРБ у больных с ОКС: при ИМ в 100% случаев [2, 3].

В настоящее время используются диагностические наборы, которые позволяют определять даже незначительные концентрации. В ряде случаев СРБ при ОКС содержится в крови в повышенном состоянии в течение нескольких дней, а у некоторых больных – даже несколько недель и месяцев. В ряде случаев при ОКС уровень СРБ коррелирует с уровнем тропонинов.

Выявлена положительная корреляционная связь между высоким уровнем N-концевого фрагмента мозгового натрийуретического пептида (NT-proBNP) и тяжестью атеросклеротических изменений в артериях сердца [4]. При ИМ уровень NT-proBNP быстро повышается в течение первых 20 – 30 ч с начала развития симптомов болезни. Высокая прогностическая ценность NT-proBNP у больных с ОКС подтверждена во многих работах [5]. В исследовании FAST (Fast Assessment in Thoracic Pain, 2002) было установлено, что повышение уровня NT-proBNP является независимым предиктором низкой выживаемости больных с ОКС как в ближайшем, так и в отдаленном периоде [6]. В более крупном исследовании GUSTO-IV (6800 пациентов) была выявлена большая прогностическая ценность определения NT-proBNP по сравнению с тропониновым тестом.

Сердечный белок, связывающий жирные кислоты (СБСЖК) – протеин, локализующийся в цитозоле миокардиоцитов. Выявляется в крови через 1 – 3 ч после возникновения повреждения миокарда. Превосходит миоглобин по специфичности и чувствительности, показывает большую чувствительность, чем тропонины в течение первых 4 ч после начала ИМ. Однако мало исследован в реальных клинических ситуациях. Максимальная концентрация достигается через 6 – 8 ч, а снижается в течение 24 – 30 ч. В то же время повышается при хронической почечной недостаточности и при поражении скелетной мускулатуры. В настоящее время рекомендуется как ранний маркер некроза миокарда.

Миелопероксидаза (МПО) – фермент полиморфно-ядерных лимфоцитов и макрофагов. Как и СРБ МПО может быть использован в качестве маркера нестабильности АТБ и активности нейтрофилов. Так, по данным исследования CAPTUR повышение МПО более 350 г/л повышает риск смерти и развития острого инфаркта миокарда в 2,25 раза. Тем не менее, при условии, что активация нейтрофилов сопровождается большим числом других патологических состояний, необходимо иметь в виду низкую специфичность МПО при остром коронарном синдроме.

В последние годы внимание исследователей привлекает изучение процессов, связанных с изменениями уровней некодирующих короткоцепочечных рибонуклеиновых кислот – микроРНК в различных биологических средах организма в качестве диагностического и прогностического маркера острого инфаркта миокарда (ОИМ).

По данным литературы изменение уровня микроРНК-155 в клетках крови является новым перспективным маркером повреждения миокарда при развитии ОКС, который характеризует ответ иммунной системы. Для выяснения прогностического значения определения микроРНК-155 целесообразна оценка ее содержания в динамике патологических стадий течения ОИМ, включая период активации процессов репарации, совпадающих по времени с клинической стадией острой фазы заболевания.

Так же в качестве маркера может быть кальций-аденозинтрифосфатаза (Ca²⁺-АТФаза) саркоплазматического ретикулума (СР)- фермент, который выполняет важную роль в физиологии и патологии сердечной мышцы [7]. Повышение уровня Ca²⁺-АТФазы СР отмечают примерно через 4 – 6 ч после дебюта, исчезает через 144 ч (6 дней). Дальнейшие клинические исследования позволят выявить степень специфичности этого маркера для диагностики ОИМ.

Изучив данную литературу можно прийти к выводу, что в связи с распространенностью сердечно-сосудистых заболеваний нужно проводить больше исследований по поиску эффективных способов определения ишемической болезни сердца. Ранняя постановка точного диагноза позволяет назначить лечение и спасти пациенту жизнь. С каждым годом появляются более специфичные и точные биохимические маркеры инфаркта миокарда, позволяющие в течение нескольких часов правильно поставить диагноз.

Список использованных источников

1. Шевченко, О. П. RAPP-A и другие маркеры воспаления в диагностике острого коронарного синдрома / О. П. Шевченко, Ю. С. Слесарева, А. О. Шевченко // Профилактическая медицина. – 2009. – 6. – С. 57.

2. Рагино, Ю. И. Динамика изменений воспалительно-окислительных биомаркеров в крови при остром коронарном синдроме / Ю. И. Рагино, А. Д. Куимов, Я. В. Полонская, Е. В. Каштанова, Н. Г. Ложкина, Т. А. Балабушевич, Н. В. Еременко, У. Н. Негмаджонов. – 2012. – 2. – С. 18 – 22 .

3. Оганов, Р. Г. Иммуновоспалительные реакции при остром коронарном синдроме. Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии / Р. Г. Оганов, Н. Э. Закирова, А. Н. Закирова, Г. М. Салахова, М. Р. Плотникова. – 2007. – 3(5). – 15 – 1.

4. Барбараш, О. Л. Возможность использования N-терминального фрагмента мозгового натрий-уретического пропептида как маркера мультифокального атеросклероза у больных инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST / О. Л. Барбараш, Е. Н. Усолицева, К. С. Шафранская, М. В. Зыков, О. В. Груздева, О. М. Поликутина, В. В. Кашталап // Российский кардиологический журнал. – 2012. – 3(95). – 12 – 8.

5. Зыков, К. А. Динамика воспалительного процесса у больных с острым коронарным синдромом и стабильной стенокардией. Сообщение II. Биохимические, иммунологические и клинические аспекты / К. А. Зыков, Э. Ю. Нуралиев, Е. И. Казначеева, Т. В. Кузнецова, Е. Б. Яровая, В. П. Масенко, В. В. Кухарчук от имени исследовательской группы «Атеросклероз и воспаление» // Кардиологический вестник. 2011. – 1. – 23 – 32.

6. Шрейдер Е. В., Шахнович Р. М., Казначеева Е. И. и др. Сравнительная динамика маркеров воспаления и NT-проBNP при различных вариантах лечения больных с острым коронарным синдромом. Кардиология / Е. В. Шрейдер, Р. М. Шахнович, Е. И. Казначеева и др.. – 2008. – 8. – 20 – 7.

7. Сырбу, С. И. Функциональное состояние и содержание Ca²⁺-АТФазы саркоплазматического ретикулума сердца при ишемии. В кн. : Матер. науч. конф. Гос. мед. ун-та им. Н. Тестемицану Респ. Молдова (12 – 15 мая 1992 г.) / С. И. Сырбу, О. И. Мачука, М. И. Попович, В. С. Гудумак. – Кишинев, 1992. – С. 39.

References

1. Shevchenko, O. P. PAPP-A and other inflammatory markers in the diagnosis of acute coronary syndrome / O. P. Shevchenko, Yu. S. Slesareva, A. O. Shevchenko // Preventive medicine. – 2009. – 6. – С. 57.
2. Ragino, Yu. I. Dynamics of changes in inflammatory and oxidative biomarkers in the blood of patients with acute coronary syndrome / Yu. I. Ragino, A. D. Kuimov, Y. V. Polonskaya, E. V. Chestnut, N. G. Lozhkina, T. A. Balabushevich, N. V. Eremenko, U. N. Negmadzhonov. – 2012. – 2. – С. 18 – 22.
3. Иммуновоспалительные реакции при остром коронарном синдроме. Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии / Р. Г. Оганов, Н. Э. Закирова, А. Н. Закирова, Г. М. Салахова, М. Р. Плотникова. – 2007. – 3(5). – 15 – 1.
3. Oganov, R. G. Immunological reactions during acute coronary syndrome. Rational Pharmacotherapy in Cardiology / R. G. Oganov, N. E. Zakirova, A. N. Zakirova, G. M. Salakhova, M. R. Plotnikova. – 2007. – 3(5). – 15 – 1.
4. Barbarash, O. L. The possibility of using N-terminal fragment of brain sodium uretichesкого propeptide as a marker of multifocal atherosclerosis in patients with myocardial infarction with ST-segment elevation / O. L. Barbarash, E. N. Usoltseva, K. S. Shafranskaya, M. V. Zykov, O. V. Gruzdev, O. M. Polikutina, V. V. Kashtalap // journal of Cardiology. – 2012. – 3(95). – 12 – 8.
5. Zykov, K. A. Dynamics of the inflammatory process in patients with acute coronary syndrome and stable angina. Report II. Biochemical, immunological and clinical aspects / K. A. Zykov, E. Yu. Nuraliev, E. I. Kaznacheeva, T. V. Kuznetsova, E. B. Yarovaya, V. P. Masenko, V. V. Kuharchuk on behalf of the research group and “Atherosclerosis inflammation” // Heart Gazette. – 2011. – 1. – 23 – 32.
6. Schrader, E. V. Comparative dynamics of inflammatory markers and NT-proBNP in different types of treatment for patients with acute coronary syndrome. Cardiology / E. V. Schrader, R. M. Shakhnovich, E. I. Kaznacheeva et al. – 2008. – 8. – 20 – 7.
7. Sarbu, S. I. Functional status and content of Ca²⁺ -ATPase of the sarcoplasmic reticulum of cardiac ischemia. Proc. : Materialy nauchnoy State Conference. honey. Zap them. N. Testemitanu Rep. Moldova (12 – 15 May 1992) / S. I. Sarbu, O. I. Machuca, M. I. Popovic, V. S. Gudumac. – Kishinev, 1992. – 39.

Алексеев С. Ю., Захаров А. Ю.
ОАО «Корпорация «Росхимзащита»
(Россия, г. Тамбов)

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ,
ПРОТЕКАЮЩИХ В ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ
С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ, ПРИ ИХ ИСПЫТАНИИ
НА СТЕНДЕ «ИСКУССТВЕННЫЕ ЛЕГКИЕ»**

Alekseev S. Yu., Zakharov A. Yu.
OJSC Corporation “Roshimzaschita”
(Russia, Tambov)

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND COMPUTER MODELING
FOR RESEARCH OF PROCESSES OCCURRING IN THE ISOLATING
RESPIRATORY DEVICES WITH CHEMICALLY BOUND OXYGEN,
WHEN TESTED AT ARTIFICIAL LUNGS INSTALLATIONS (“AL”)**

Аннотация. В работе рассматривается подход к исследованию процессов, протекающих в рабочих частях изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом.

Ключевые слова: математическое моделирование, изолирующие дыхательные аппараты.

Abstract. The paper deals with an approach to the study of the processes occurring in the working parts of the isolating respiratory devices with chemically bound oxygen.

Keywords: math modeling, isolating respiratory devices.

Для определения эксплуатационных характеристик изолирующих дыхательных аппаратов используется стенд «Искусственные легкие». В ходе испытаний оцениваются: содержание диоксида углерода и кислорода в газовой смеси, температура, влажность газовой смеси, сопротивление дыханию. Дополнение стенда компьютерной системой моделирования процессов, протекающих в изолирующих дыхательных аппаратах с химически связанным кислородом, при их испытании на стенде «Искусственные легкие» позволит в результате решения обратных задач получить:

- информацию о распределении температуры и концентраций кислорода и диоксида углерода по объему рабочей части регенеративного патрона;
- параметры тепло-, массообменных и химических процессов, протекающих в дыхательном аппарате;
- данные для формулировки и решения оптимизационных задач.

Изолирующие дыхательные аппараты представляют собой сложное устройство, в рабочей части которого протекают взаимосвязанные процессы тепло-, массообмена и

химических превращений, часто сопровождающиеся изменением агрегатного состояния химического продукта.

Можно выделить несколько основных методов построения математических моделей взаимосвязанных процессов тепло- и массопереноса, протекающих совместно со сложными химическими превращениями. Разработка математического описания взаимосвязанных тепло- и массообменных процессов, сопровождающихся набором химических реакций, а также его компьютерная реализация представляют собой сложную задачу, которая решалась поэтапно.

На первом этапе был использован метод, основанный на описании поведения температурного фронта экзотермической реакции, протекающей в рабочем пространстве регенеративного патрона. Такой подход целесообразен в первую очередь из-за большей простоты и достоверности постановки эксперимента по снятию температурных распределений в объеме зоны реакции при получении недостающих кинетических характеристик и последующей проверки адекватности полученного математического описания. Выход целевых продуктов химических превращений, а, следовательно, и качество работы регенеративного патрона, в данном случае однозначно связано с состоянием температурного фронта. Для математического моделирования поведения температурного фронта регенеративного патрона был использован подход, основанный на рассмотрении локальных временных интервалов, последовательно составляющих общее время рабочего цикла. Для каждого локального интервала решается сопряженная задача теплопроводности, включающая ряд подзадач, каждая из которых позволяет определить нестационарное температурное поле отдельных компонентов рассматриваемой системы.

На следующем этапе аналогичный подход планируется применить к постановке и решению задач математического моделирования процессов массообмена, протекающих в рабочей части регенеративного патрона. Планируется рассмотреть задачу нестационарного массопереноса для конечного цилиндра с функционально распределенным внутренним источником вещества.

Список использованных источников

1. Отчет по гранту РФФИ № 06-07-89008-а «Разработка теории и методов расчета подсистем, изолирующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде», 2007.
2. Отчет по гранту РФФИ № 08-08-13715-офи_ц «Интегрированное проектирование и создание лабораторного образца испытательного стенда «Искусственные легкие» для исследования и повышения эффективности функционирования изолирующих дыхательных аппаратов», 2009.
3. Конструкторская документация ЦТКЕ.5.184.000. «Стенд моделирования дыхания», 2015.

References

1. The report of the grant RFBR № 06-07-89008-i the «Development of theory and methods of calculation of the subsystems, isolating respiratory devices with chemically bound oxygen», 2007.
2. The report of the grant RFBR № 08-08-13715-ofi_c «Integrated design and construction of the laboratory sample «Artificial Lungs» installations test bed for research and increasing the efficiency of isolating respiratory devices with chemically bound oxygen», 2009.
3. Design documentation. «Breathing simulation installations», 2015.

Мутумбища Ч. К., Чиквето Ф., Фролов С. В., Коробов А. А.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

МОДЕЛЬ УЧАСТКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В СОСРЕДОТОЧЕННЫХ КООРДИНАТАХ

Mutumbisha C. K., Chikweto F, Frolov S. V., Korobov A. A.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

MODEL FOR THE PORTION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN LUMPED COORDINATES

Аннотация. Представлено математическое описание четырехкамерной модели участка сердечно-сосудистой системы. Участка сердечно-сосудистой системы представляется в виде последовательно соединенных четырех упругих камер.

Ключевые слова: математическая модель, сердечно-сосудистая система, гемодинамика.

Abstract: A mathematical description for the portion of the cardiovascular system model. A portion of the cardiovascular system is represented as series-connected four-elastic chambers.

Keywords: mathematical model, cardiovascular system, hemodynamic.

Заболевания сердечно-сосудистой системы являются основной причиной смерти во всем мире. Для прогнозирования состояния пациента в результате лечебных воздействий и манипуляций применяются математические модели гемодинамики сердечно-сосудистой системы.

Модель участка сердечно-сосудистой системы можно представить в виде последовательно соединенных четырех упругих камер (рис. 1).

В каждый момент времени i -ая камера сердечно-сосудистой системы характеризуется объемом крови $V(t)$, давлением $P(t)$ в стенке камеры, скоростью входного кровотока $q_{\text{вх}}(t)$ и выходного кровотока $q_{\text{вых}}(t)$, ненапряженным объемом $U(t)$. Начальным и конечным условиями модели приняты кровоток q_0 и давление P_5 соответственно. Схема упругой камеры представлена на рис. 2.

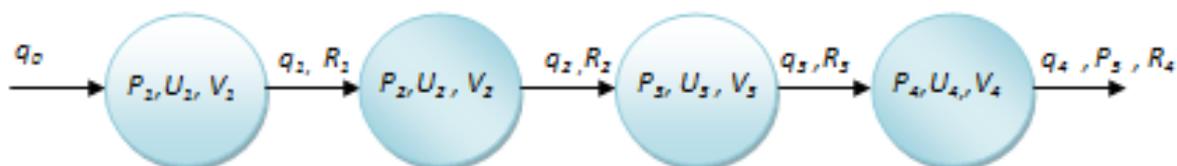


Рис. 1. Камерная структура модели кровообращения

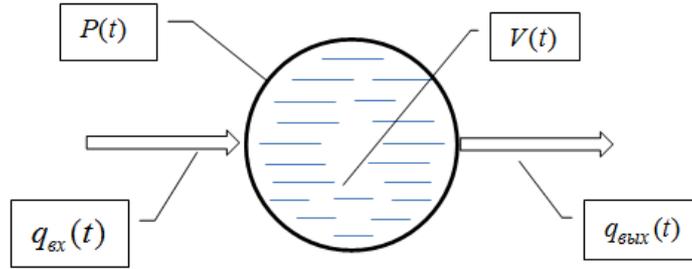


Рис. 2. Схема камеры модели сердечно-сосудистой системы

В соответствии с законом сохранения массы уравнение для объема i -ой камеры записывается в виде:

$$\frac{dV_i(t)}{dt} = q_i^{\text{вх}}(t) - q_i^{\text{вых}}(t), \quad i \in \overline{1, 4}, \quad (1)$$

где $q_i^{\text{вх}}(t)$ – вектор входных кровотоков ($\text{см}^3/\text{с}$); $q_i^{\text{вых}}(t)$ – вектор выходных кровотоков [2].

При нахождении давления $P_i(t)$ в стенке i -ой камере примем, что чем больше крови в камере, тем сильнее растянуты ее стенки, и тем больше давление в стенке камеры. Тогда давление находится как:

$$P_i(t) = e_i(V_i(t) - U_i), \quad (2)$$

где e_i – жесткость стенки камеры ($\text{Торр}/\text{см}^3$); U_i – объем крови, расправляющий, но не растягивающий стенки камеры (см^3).

Расправляющий объем крови составляет ту наибольшую часть полного объема заполнения камеры, которая сама по себе еще не растягивает стенки камеры. Наполняя камеру, кровь сначала расправляет ее и лишь потом, когда объем станет достаточным, растягивает [3].

Кровоток находится согласно закону Пуазейля:

$$q_{i-1,i}(t) = \rho_{i-1,i}(P_{i-1}(t) - P_i(t)), \quad (3)$$

где $\rho_{i-1,i}$ – в проводимость связи ($\text{см}^3/(\text{Торр}\cdot\text{с})$).

Для кровотоков из аорты в артерии большого круга кровообращения учитываются инерционные свойства крови:

$$\frac{dq_{i-1,i}(t)}{dt} = \frac{1}{L_{i,j}} \left(\Delta P_{i,j} - \frac{q_{i-1,i}(t)}{\rho_{i-1,i}} \right), \quad (4)$$

где $L_{i,j}$ – инерционность кровотока из камеры i в камеру j ($\text{Торр}\cdot\text{с}^2/\text{см}^3$).

На основе уравнений (1) – (4) была составлена математическая модель гемодинамики участка сердечно-сосудистой системы. Моделирование гемодинамики было произведено в программной среде Matlab представлено на рис. 3.

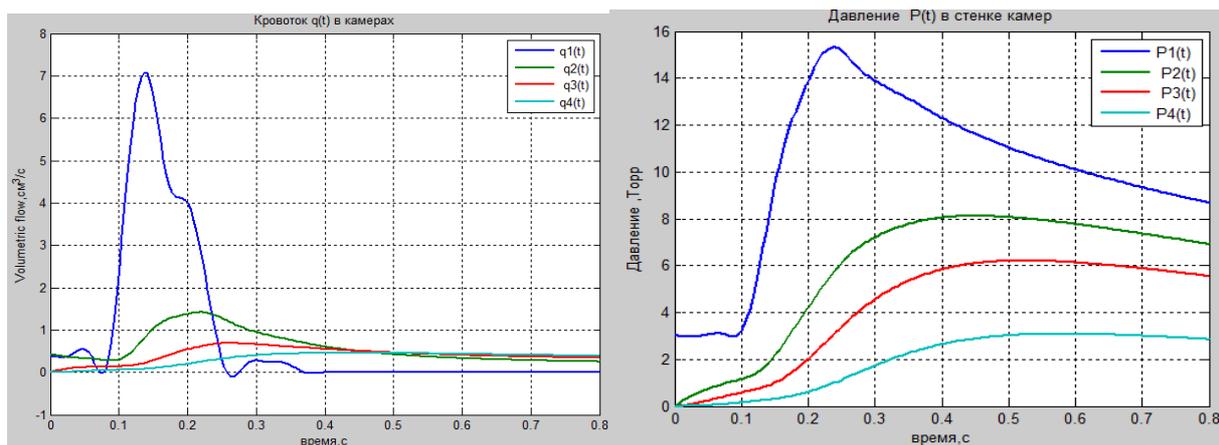


Рис. 3. Изменение кровотока и давления в камерах

Представленные уравнения являются частью базовой модели сердечно-сосудистой системы. Дальнейшее развитие модели планируется путем увеличения числа камер и более подробного описания элементов модели.

Список использованных источников

1. Лищук В. А. и др. Стратегия информатизации медицины. – Ейск : Юг Полиграф, 2011 – 248 с.
2. Фролов, С. В. Модель сердечно-сосудистой системы, ориентированная на современную интенсивную терапию – 2008 / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, Д. Ш. Газизова, В. А. Лищук // Вестник ТГТУ. 2008. Т. 14, № 4. С. 892 – 902.
3. Лищук В. А. Система закономерностей кровообращения // Клиническая физиология кровообращения. – 2005. – № 4. – С. 14 – 24.

References

1. Lishuk V. A. and others. Medicine Informatization Strategy. – Yeisk : South Polygraph, 2011. – 248 p.
2. Frolov, C. V. The model of the cardiovascular system, focused on the modern intensive care – 2008 / C. V. Frolov, C. N. Makoveev, D. Sh. Gazizova, V. A. Lishuk // Transactions of the TSTU. – 2008. – T. 14, N 4. – P. 892 – 902.
3. Lishuk V. A, System of laws of blood circulation // Clinical Physiology of blood circulation. – 2005. – N 4. – P. 14 – 24.

УДК 574
ББК 0145

Павлова О. А., Горбунов А. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

БИОХИМИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА СИНУКЛЕИНОПАТИЙ

Pavlova O. A., Gorbunov A. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

BIOCHEMICAL DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF SYNUCLEINOPATHIES

Аннотация. Рассмотрены синуклеинопатические заболевания. Выделены проявления паркинсонизма. Изучены атипичные расстройства. Показано их отличие от паркинсонизма: симптомы, клинические проявления, следствия, причины. Сделаны выводы о сходности заболеваний синуклеинопатических заболеваний.

Ключевые слова: синуклеинопатия, паркинсонизм, деменция с тельцами Леви, дифференциальная диагностика.

Abstract. Considered synucleinopathies disease. Selected manifestations of parkinsonism. Studied atypical disorders. Shows the difference between them of Parkinson's disease: symptoms, clinical manifestations, consequences, causes. Conclusions are drawn about the similarity of the diseases synucleinopathies diseases.

Keywords: synucleinopathies, Parkinson's disease, dementia with Lewy bodies, differential diagnosis.

Нейродегенеративные заболевания, связанные с накоплением и агрегацией в определенных группах клеток головного мозга белка альфа-синуклеина, с образованием специфических внутриклеточных включений называются синуклеинопатиями. Накопление нерастворимых агрегатов альфа-синуклеина нарушает функцию клеток и в итоге приводит к их гибели [1]. К таким заболеваниям относят болезнь Паркинсона, деменцию с тельцами Леви и многое другое.

Термин «паркинсонизм» является общим понятием для множества заболеваний и состояний с основными симптомами. Но самой главной из форм этого понятия является болезнь Паркинсона – самостоятельная болезнь, не вызванная генетическими нарушениями или другими заболеваниями. Диагностика болезни во многих случаях не вызывает сложностей [2, 3].

Первым этапом является обнаружение у пациента гипокинезии и одного из ведущих симптомов: тремора, ригидности, нарушения координации. На втором этапе уточ-

няют нозологическую форму [4]. Паркинсонизм делится на две группы: первичный и вторичный.

Первичные паркинсонические расстройства являются типичными представителями нейродегенераций, в основе этиопатогенеза которых лежит агрегация протеинов интрацеллюлярно. К первичному паркинсонизму относят саму болезнь Паркинсона и атипичные паркинсонические расстройства [5].

При вторичном паркинсонизме известна основная причина, которая привела к нарушению функции базальных ганглиев. К нему относят сосудистый паркинсонизм, токсические энцефалопатии, гидроцефалия, посттравматический паркинсонизм, опухоли, метаболические энцефалопатии [5].

Болезнь Паркинсона и атипичные формы паркинсонизма кардинально различаются в прогнозе и методах терапии, поэтому необходимо уделять особое внимание дифференциальной диагностике.

Болезнь Паркинсона принято разделять на «болезнь Паркинсона с деменцией» и «деменцию с тельцами Леви». Деменция с тельцами Леви (ДТЛ) это деменция, клинически определяющаяся синдромом паркинсонизма и возникновением прогрессирующего когнитивного расстройства уже в течение первого года заболевания. Тельца Леви образуются вследствие скопления в цитоплазме белка α -синуклеина [6].

С болезнью Паркинсона возможно спутать эссенциальный тремор. Главным критерием при диагностике является тремор рук, также может наблюдаться тремор головы, голоса и подбородка. Для этой болезни характерным является постуральный и интенционный тремор. Сначала тремор беспокоит лишь при напряжении, либо при долгом выполнении какой-либо работы. Однако потом он начинает проявляться и при покое [7, 8].

Прогрессирующий супрануклеарный паралич – редкая болезнь, вызывающая мышечную ригидность, нарушение подвижности глаз и слабость мышц горла. Подвергаются люди пожилого возраста. Первоначально он проявляется в нарушении ходьбы. При этом бросаются в глаза не только укорочение шага, замедленность ходьбы и трудность в ее инициации, но и выраженная неустойчивость с тенденцией к падению назад [9]. Эти симптомы начинают проявляться уже в первый год заболевания, в отличие от болезни Паркинсона (5 – 7 лет). По мере прогрессирования болезни страдают горизонтальные движения глазных яблок (неспособность поднять глаза кверху), но окуловестибулярные рефлексy остаются сохранными.

А вот симптомы мультисистемной атрофии довольно разнообразны. По сочетанию симптомов ее разделяют на три комбинации: вегетативная дисфункция; паркинсонизм; атаксия [10]. Самым распространенным признаком мультисистемной атрофии является появление «акинетически-ригидного синдрома». Другие общие признаки заболевания включают в себя проблемы с балансом, а затем мочеполовые проблемы.

Наиболее значимым в эпидемиологическом плане вторичным синдромом паркинсонизма является сосудистый паркинсонизм. Развитие болезни определено ишемическим или геморрагическим повреждением базальных ганглиев, среднего мозга и их связей с лобными долями [11]. Явным признаком синдрома является паркинсонизм ниж-

ней половины тела. Также можно заметить явление паратонии, которое проявляется в виде непроизвольного сопротивления пассивным движениям, связывающихся с дисфункцией лобных долей. У сосудистого паркинсонизма, в отличие от болезни Паркинсона, возможно двустороннее начало с относительной симметричностью симптоматики, так как развитие экстрапирамидной симптоматики возможно только при двустороннем поражении базальных ганглиев [12]. Поэтому возможно отметить сильно выраженную ригидность и гипокинезию в аксиальной мускулатуре и нижних конечностях, что приводит к раннему развитию постуральной неустойчивости, расстройству ходьбы в виде укорочения длины шага, затруднениям в начале движения и, как следствие, к частым падениям.

В итоге можно отметить сходность симптомов всех синдромов, но каждый из них имеет и отличительные черты. Ранняя нестабильность и падения, быстрое прогрессирование болезни, мозжечковые или пирамидные симптомы, ранняя деменция и многое другое не являются показателями болезни Паркинсона, они говорят о атипичности паркинсонизма. Из-за разнообразия симптомов важно точно соблюдать методы постановки диагноза, так как от этого зависит не только прогноз, но и эффективность терапии.

Список использованных источников

1. Миалов, И. Синуклеинопатии. – 2004.
2. Левин, О. С. Болезнь Паркинсона / О. С. Левин, Н. В. Федорова. М., 2006. – 256 с.
3. Samii, A. Parkinson's disease / A. Samii, J. G. Nutt, B. R. Ransom // Lancet. – 2004.
4. Яхно, Н. Н. Болезни нервной системы / Н. Н. Яхно, Д. Р. Штульман. – М. : Медицина, 2001. – Т. 2. – С. 76 – 95. – 744 с.
5. Голубев, В. Л. Болезнь Паркинсона и синдром паркинсонизма / В. Л. Голубев, Я. И. Левин, А. М. Вейн. – М. : МЕДпресс, 2000.
6. Parkinson's disease Pathophysiology (англ.). Medscape (20 июня 2011).
7. Louis, E. D. Factors associated with increased risk of head tremor in essential tremor: a community-based study in northern Manhattan / E. D. Louis, B. Ford, S. Frucht // Movement Disorders. – 2003. – V. 18, N 4. – P. 432 – 436.
8. Louis, E. D. Isolated Head Tremor: Part of the Clinical Spectrum of Essential Tremor? Data from Population-Based and Clinic-Based Case Samples / E. D. Louis, O. Dogu // Movement Disorders. – 2009. – V. 24, N 15. – P. 2281 – 2285.
9. URL : <http://health-medicine.info/progressiruyushhij-supranuklearnyj-paralich/>
10. Burn D. J., Jaros E. (December 2001). «Multiple system atrophy: cellular and molecular pathology».
11. Youdim, M. B. Monoamine oxidase A and B inhibitors in Parkinson's disease / M. B. Youdim, P. F. Riederer ; Eds. W. C. Koller, E. Melamed. Parkinson's disease and related disorders. – Edinburg. Elsevier. – 2007. – V. 84. – P. 93 – 120.
12. Weaver, F. M. Bilateral Deep Brain Stimulation vs Best Medical Therapy for Patients With Advanced Parkinson's disease A Randomized Controlled Trial / F. M. Weaver, K. Follett, M. Stern et al. // JAMA. – 2009. – V. 301. – P. 63 – 73.

References

1. Mihalov, I. Synucleinopathies. – 2004.
2. Levin, O. S. Parkinson's Disease / O. S. Levin, N. V. Fedorova. – M., 2006. – 256 p.
3. Samii, A. Parkinson's disease / A. Samii, J. G. Nutt, B. R. Ransom // *Lancet*. – 2004.
4. Yakhno, N. N. Diseases of the nervous system / N. N. Yakhno, D. R. Shtulman. – M. : Medicine, 2001. – T. 2. – P. 76 – 95. – P. 744.
5. Golubev, V. L. Parkinson's Disease and the Parkinsonian syndrome / V. L. Golubev, Ya. I. Levin, A. M. Wayne. – M. : Medpress, 2000.
6. The Pathophysiology of Parkinson's disease (eng.). Medscape (20 June 2011).
7. Louis, E. D. Factors associated with increased risk of head tremor in essential tremor: a community-based study in northern Manhattan / E. D. Louis, B. Ford, S. Frucht // *Movement Disorders*. – 2003. – V. 18, N 4. – P. 432 – 436.
8. Louis, E. D. Isolated Head Tremor: Part of the Clinical Spectrum of Essential Tremor? Data from Population-Based and Clinic-Based Case Samples / E. D. Louis, O. Dogu // *Movement Disorders*. – 2009. – V. 24, N 15. – P. 2281 – 2285.
9. URL : <http://health-medicine.info/progressiruyushhij-supranuklearnyj-paralich/>
10. Burn D. J., Jaros E. (December 2001). “Multiple system atrophy: cellular and molecular pathology”.
11. Youdim, M. B. Monoamine oxidase A and B inhibitors in Parkinson's disease / M. B. Youdim, P. F. Riederer ; Eds. W. C. Koller, E. Melamed. Parkinson's disease and related disorders. – Edinburg. Elsevier. – 2007. – V. 84. – P. 93 – 120.
12. Weaver, F. M. Bilateral Deep Brain Stimulation vs Best Medical Therapy for Patients With Advanced Parkinson's disease A Randomized Controlled Trial / F. M. Weaver, K. Follett, M. Stern et al. // *JAMA*. – 2009. – V. 301. – P. 63 – 73.

УДК 661.499, 66.097.8
ББК 35.115

Рылов Ю. Б., Андреев В. П., Пилягина А. О.
ОАО «Корпорация «Росхимзащита»
(Россия, г. Тамбов)

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Rylov Yu. B., Andreev V. P., Pilyagina A. O.
OJSC Corporation “Roshimzaschita”
(Russia, Tambov)

REGENERATIVE PRODUCT FOR ISOLATING RESPIRATORY APPARATUS

Аннотация. Представлены результаты исследования регенеративного продукта для изолирующих дыхательных аппаратов, включающий надпероксид калия, сульфат магния и диоксид кремния, синтезированный из хризотилового асбеста.

Ключевые слова: регенеративный продукт, надпероксид калия, изолирующий дыхательный аппарат.

Abstract. Presents the research results of regenerative product for isolating respiratory apparatus, including superoxide potassium, magnesium sulfate and silicon dioxide, synthesized from chrysotile asbestos.

Keywords: regenerative product, superoxides of potassium, self-contained breathing apparatus.

Особенностью работы регенеративного продукта (РП) является совмещение процесса хемосорбции углекислого газа с плавлением продуктов реакции, трансформацией в ходе обработки пористой структуры. Последнее происходит вследствие интенсивного газовыделения молекулярного кислорода.

Эффективность поглощения диоксида углерода регенеративным продуктом в ходе химической регенерации воздуха напрямую зависит от химического состава, степени дисперсности исходных компонентов, пористости и размеров гранул, порозности слоя.

Использование в системах жизнеобеспечения для регенерации воздуха в изолирующих дыхательных аппаратах (ИДА), чистых перекисных соединений на основе надпероксида калия KO_2 , затруднено. При реакции с парами воды и диоксидом углерода на поверхности гранул KO_2 образуется расплав, который затрудняет диффузию паров и воды к еще не прореагировавшему веществу. В результате снижается эффективность использования надперекисей щелочных металлов [1].

Целью данной работы являлась разработка регенеративного продукта, содержащего в своем составе катализатор и структурообразующую добавку, повышающие эффективность его работы при регенерации воздуха.

Разработанный продукт для регенерации воздуха на основе надпероксида калия дополнительно содержит сульфат магния и диоксид кремния, синтезированный из хризотилового асбеста.

Применение диоксида кремния, синтезированного из хризотилового асбеста, обусловлено необходимостью создания диффузионных каналов, в качестве которых выступают волокна SiO_2 , по которым вода и диоксид углерода поступают во внутренние слои регенеративного продукта, приводя к более полной его отработке. Кроме того, диоксид кремния вступает в реакцию с гидроксидом калия, образующимся в результате взаимодействия надпероксида калия с водой, с образованием ортосиликата калия, который в свою очередь способен взаимодействовать с диоксидом углерода, увеличивая, таким образом, емкость регенеративного продукта по диоксиду углерода. Данный процесс можно схематически описать уравнениями следующих реакций [2]:



Диоксид кремния синтезируют путем обработки хризотилового асбеста в нескольких последовательных стадий. На первой стадии 1 весовую часть хризотилового асбеста заливают 5 весовыми частями 18%-ым раствором соляной кислоты. Вторая стадия – выщелачивание, залитый раствором кислоты хризотилковый асбест выдерживают в течение 12 суток в закрытой емкости, перемешивая содержимое 1 раз в сутки. В результате 2-й стадии из асбеста вымываются соли магния и разрушается волокнистая структура асбеста.

Отличительной особенностью полученного таким образом SiO_2 является форма частиц в виде волокон длиной до 8 мкм и диаметром 30...100 нм с хорошо развитой пористой структурой (в кристаллическом диоксиде кремния отсутствуют поры и волокна, а частица представляет собой форму куба, тетраэдра и др.). Кроме того, в отличие от хризотилового асбеста, диоксид кремния имеет более расширенную систему каналов и короткие волокна (длина волокон хризотилового асбеста достигает 100 мкм), вследствие чего в регенеративном продукте отсутствует «ворс» или «лохматость», и, как следствие, снижается аэродинамическое сопротивление дыханию при работе в изолирующем дыхательном аппарате.

Ортосиликат щелочного металла, образующийся в процессе работы регенеративного продукта, выступает также в качестве структурообразующей добавки, препятствующей оплыванию поверхности продукта и плавлению смеси соединений, образующихся при работе регенеративного продукта. Это улучшает условия диффузии паров воды и диоксида углерода в объем гранул регенеративного продукта на протяжении всего времени работы дыхательного аппарата, что позволяет более эффективно использовать ресурс регенеративного продукта и за счет этого увеличить время защитного действия изолирующего дыхательного аппарата при неизменности его массогабаритных характеристик.

Смесь не до конца прореагировавших исходных компонентов, продуктов взаимодействия KO_2 с водой и диоксидом углерода, диоксида кремния с гидроксидом калия

образует ряд твердых растворов с эвтектическими точками, лежащими выше температуры, достигаемой в зоне реакции, т.е. на протяжении всего времени работы продукта для регенерации воздуха в патроне существуют пористые твердые фазы переменного состава. Это также улучшает условия диффузии паров воды и диоксида углерода в объеме гранул продукта для регенерации воздуха.

Сульфат магния в составе продукта для регенерации воздуха выступает в роли ингибитора разложения надпероксида калия, при этом количество выделяющегося кислорода и поглощенного диоксида углерода полностью соответствует требованиям, предъявляемым к работе регенеративных продуктов в изолирующих дыхательных аппаратах. Каталитическое разложение надпероксида калия, приводящее к увеличению скорости выделения кислорода, необходимо лишь в начальный период работы продукта для регенерации воздуха, а в дальнейшем это приводит к избыточному (по сравнению с необходимым для дыхания пользователя) выделению кислорода. За счет замедления скорости реакции разложения надпероксида калия увеличивается время защитного действия регенеративного продукта в составе ИДА.

Разработанный продукт для регенерации воздуха испытан в патроне серийного изолирующего дыхательного аппарата СПИ-20 (ТУ 6-16-30-93) на установке «Искусственные легкие» (ИЛ) при следующих условиях:

– легочная вентиляция	35 ± 1 дм ³ /мин;
– объемная подача СО ₂	$1,33 \pm 0,03$ дм ³ /мин;
– частота дыхания	$20 \pm 0,5$ мин ⁻¹ ;
– температура окружающей среды	20 – 25 °С.

Объемы кислорода и диоксида углерода указаны при 10 °С и 101,3 кПа, легочная вентиляция – при 37 °С и 101,3 кПа.

Для сравнения с разработанным регенеративным продуктом в тех же условиях испытывался регенеративный продукт, специально изготовленный по способу, описанному в патенте ЕПВ № 0086138, МПК, С01В 15/02, 1983 г., содержащий в качестве основного вещества надпероксид калия, в качестве структурообразующей добавки – оксиды магния или кальция, в качестве катализатора – оксохлорид меди. Все регенеративные продукты имели форму гранул одинакового размера и плотности. Время защитного действия изолирующего дыхательного аппарата определяли как время от начала его работы до того момента, когда концентрация СО₂ в потоке газо-воздушной смеси на линии «вдоха» установки «Искусственные легкие» достигала 3%. Результаты испытаний представлены на рис. 1 – 3.

Из рисунков видно, что аэродинамическое сопротивление газовой смеси на входе и выдохе пользователя, температура газовой смеси на входе при работе регенеративного продукта с добавлением сульфата магния и диоксида кремния существенно ниже сопротивления дыханию на входе при работе регенеративного продукта, полученного по патенту ЕВП № 0086138. Снижение данных параметров создает более комфортные условия для пользователя и существенно увеличивает круг лиц, способных пользоваться изолирующими дыхательными аппаратами.

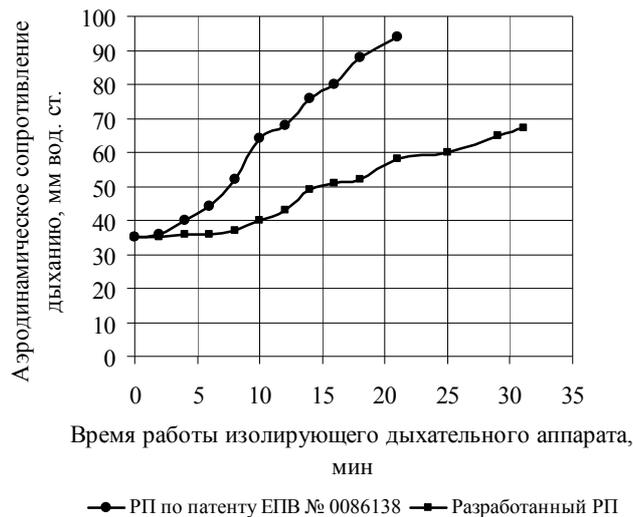


Рис. 1. Зависимость аэродинамического сопротивления дыханию пользователя от времени работы в патроне изолирующего дыхательного аппарата на линии вдоха

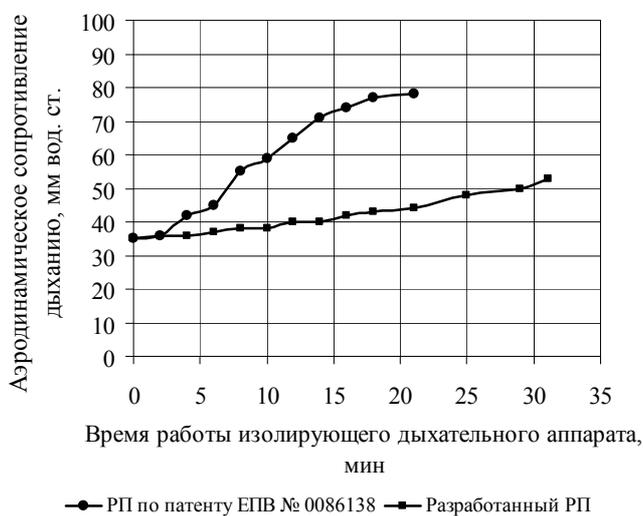


Рис. 2. Зависимость аэродинамического сопротивления дыханию пользователя от времени работы в патроне изолирующего дыхательного аппарата на линии выдоха

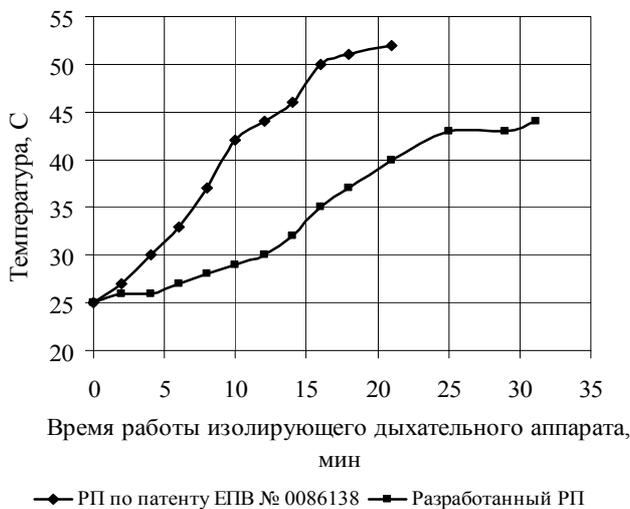


Рис. 3. Зависимость температуры газоздущной смеси на входе пользователя от времени работы патрона изолирующего дыхательного аппарата

Список использованных источников

1. Рылов, Ю. Б. Синтез новых продуктов, предназначенных для ликвидации техногенного воздействия на почву и воду / Ю. Б. Рылов, М. А. Ульянова, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин, Г. Г. Алиев, И. В. Карпова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – № 4. – С. 40–41.

2. Пат. № 2540160 Российская Федерация, МПК А62D 9/00, В01J20/04, В01D53/62. Регенеративный продукт для изолирующих дыхательных аппаратов / Рылов Ю. Б., Ульянова М. А., Андреев В. П., Точиллов В. А., Ширяев С. М., Путин С. Б. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Корпорация «Росхимзащита». – № 2013129580/05 ; заявл. 27.06.2013 ; опубл. 10.01.2015. – 12 с.

References

1. Rylov, Yu. B. Synthesis of new products, intended to eliminate man-made impacts on soil and water / Yu. B. Rylov, M. A. Ulyanova, S. I. Dvoretzky, S. B. Putin, G. G. Aliyev, I. V. Karpova // Journal of the Michurinsk state agrarian University. – 2012. – N 4. – P. 40–41.

2. Pat. N 2540160 Russian Federation, IPC A62D 9/00, B01J20/04, B01D53/62. Regenerative product for isolating respiratory apparatus / Rylov Yu. B., Ulyanov M. A., Andreev V. P., Tochilov V. A., Shiryaev S. M., Putin S. B. ; applicant and patent holder OJSC «Corporation «Roshimzaschita». – N 2013129580/05 ; stated 27.06.2013 ; published 10.01.2015. – 12 p.

УДК 661.183÷66.074
ББК 30.37

Суворова Ю. А.², Дорохов Р. В.², Козадаев И. С.^{1,2},
Кузнецова А. А.^{1,2}, Рязанов И. В.^{1,2}

¹ Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов),

² ОАО «Корпорация «Росхимзащита»
(Россия, г. Тамбов)

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ЛИСТОВЫМ ИЗВЕСТКОВЫМ ХЕМОСОРБЕНТОМ В ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕКТАХ

Suvorova Yu. A.², Dorokhov R. V.², Kozadaev I. S.^{1,2},
Kuznetsova A. A.^{1,2}, Ryazanov I. V.^{1,2}

¹ Tambov State Technical University
(Russia, Tambov),

² OJSC Corporation "Roshimzaschita"
(Russia, Tambov)

FEATURES OF AIR PURIFICATION FROM CARBON DIOXIDE WITH USE OF SHEET LIME CHEMICAL SORBENT IN CLOSED OBJECT

Аннотация. Для очистки воздуха от CO₂ в замкнутых объектах разработан листовой известковый химический поглотитель. Исследован процесс хемосорбции CO₂ листовым химическим поглотителем в замкнутом объекте.

Ключевые слова: диоксид углерода, замкнутый объект, химический поглотитель, хемосорбция.

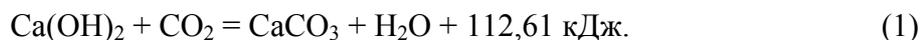
Abstract. For air purification from CO₂ in a closed object is designed sheet lime chemical sorbent. The process of chemisorption of CO₂ by sheet chemical sorbent in closed object is researched.

Keywords: carbon dioxide, a closed object, a chemical sorbent, chemisorption.

В системах очистки воздуха от диоксида углерода в замкнутых объектах, работающих при отсутствии энергии, целесообразным является использование нерегенерируемых химических поглотителей на основе гидроксидов щелочных и щелочноземельных металлов. При этом известковые химические поглотители на основе гидроксида кальция имеют ряд преимуществ, связанных с их высокой стехиометрической емкостью по CO₂, а также безопасностью и относительной дешевизной [1].

При отсутствии энергии на объекте подавать воздух на очистку в адсорбер с химическим поглотителем не представляется возможным. В таких системах сформированный химический поглотитель в виде подвесных конструкций размещают в помещении. Воздухообмен происходит за счет естественной циркуляции воздуха при конвекции за счет

разницы плотностей воздуха с различной температурой. В процессе хемосорбции выделяется теплота (уравнение (1)), которая расходуется на нагрев очищенного воздуха, находящегося у поверхности поглотителя.



Взаимодействие CO_2 с известковыми химическими поглотителями представляет собой гетерогенный процесс контактирования газовой, жидкой и твердой фаз. Данный процесс локализован на поверхности раздела фаз, поэтому необходимо обеспечить условия беспрепятственного доступа воздуха к поверхности химического поглотителя, а также необходимую пористость, обеспечивающую продвижение реакции вглубь слоя химического поглотителя.

В настоящей работе для очистки воздуха от CO_2 в замкнутых объектах предложено использовать известковый химический поглотитель, который при эксплуатации может быть размещен в виде «подвесных листов».

В ОАО «Корпорация «Росхимзащита» разработана технология получения известкового химического поглотителя в виде листа толщиной около 1 мм, заключающаяся в формировании смеси порошка гидроксида кальция и водного раствора поливинилового спирта с последующей сушкой и активацией [2]. Помимо основного вещества (гидроксида кальция) химический поглотитель содержит гидроксид калия (4...5% по массе), воду (20...25%), поливиниловый спирт (10...15%), нетканый полипропиленовый термоскрепленный материал спанбонд (2...2,5%). Внешний вид разработанного листового известкового химического поглотителя представлен на рис. 1.

Для изучения особенностей процесса хемосорбции CO_2 из воздуха замкнутых объектов листовым известковым химическим поглотителем проводили экспериментальные исследования в испытательной камере объемом 6 м³ при следующих условиях: начальная объемная доля CO_2 в воздухе 0,8%; температура воздуха 20 °С; начальная относительная влажность воздуха 70%; объемный расход CO_2 , подаваемого в камеру, 20 дм³/ч; масса химического поглотителя 2,3 кг; максимальная объемная доля CO_2 в воздухе – 1,3%. Химический поглотитель размещали в камере как показано на рис. 2. Исследо-



Рис. 1. Листовой известковый химический поглотитель



Рис. 2. Размещение листового известкового химического поглотителя в камере для испытаний

вания проводили на аттестованном оборудовании испытательного центра ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

Для сравнения, эксперимент проводили с аналогом – зарубежным листовым химическим поглотителем марки ExtendAir, разработанным фирмой Micropore Inc. (США) [3], имеющим схожий химический состав, но содержащим в качестве полимерного связующего полиэтилен (10 – 15 % по массе).

На рисунке 3 представлены сравнительные графики экспериментальных данных, в таблице – результаты экспериментальных исследований.

Объем поглощенного CO_2 V , дм^3 находили расчетным путем

$$V = V_k (C_n / 100 - C_k / 100) + V_{\text{п}}, \quad (2)$$

где V_k – объем испытательной камеры, дм^3 ; C_n , C_k – объемные доли CO_2 в камере в начале и конце испытания соответственно, %; $V_{\text{п}}$ – объем поданного CO_2 в камеру, дм^3 .

Как видно из представленных на рис. 3 графиков, процесс хемосорбции CO_2 листовым известковым химическим поглотителем, разработанным в ОАО Корпорация «Росхимзащита», и зарубежным химическим поглотителем ExtendAir характеризуется высокой скоростью вначале испытаний, снижающуюся по логарифмической закономерности по мере отработки химического поглотителя (рис. 3, в).

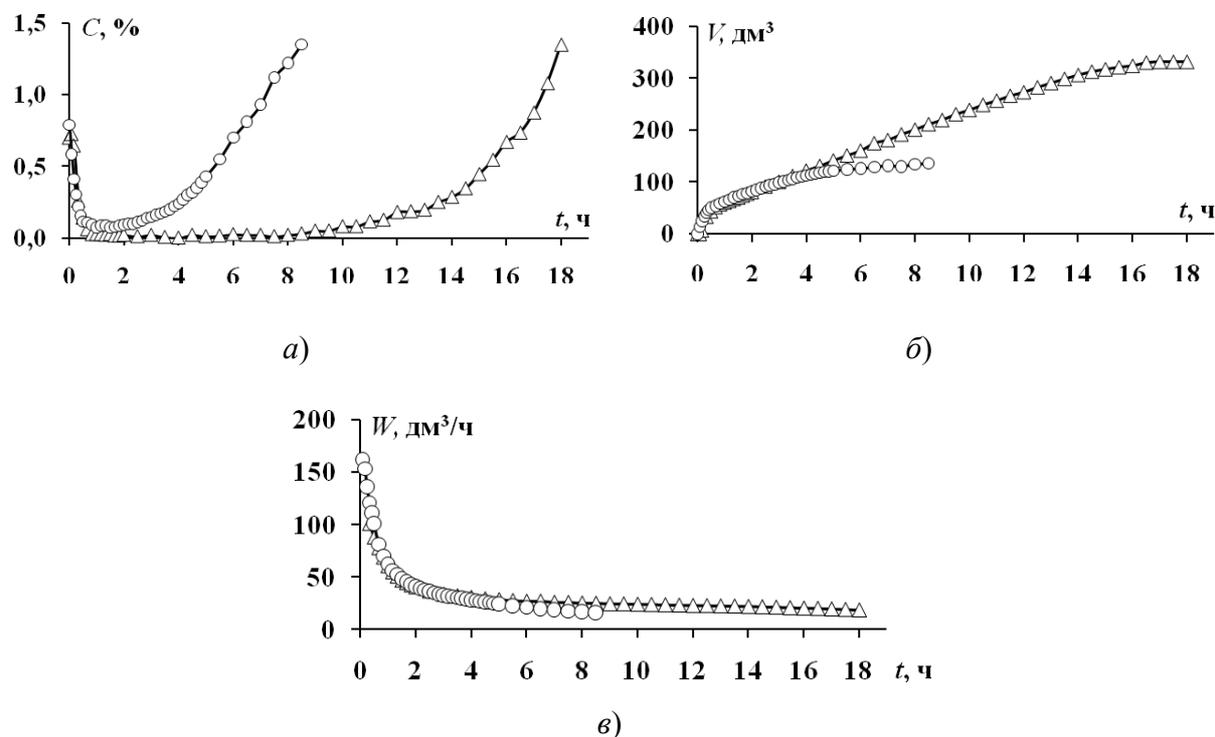


Рис. 3. Изменение объемной доли CO_2 в камере (а), объема поглощенного CO_2 (б) и скорости поглощения (в) во времени:

Δ – химический поглотитель, разработанный в ОАО «Корпорация «Росхимзащита»;

\circ – химический поглотитель марки ExtendAir

Результаты экспериментальных исследований

Технические характеристики	Листовой известковый хемосорбент (ОАО «Корпорация «Росхимзащита»)	ExtendAir (Micropore Inc.)
Масса химического поглотителя, кг	2,25	2,28
Время работы, ч	17,9	8,5
Объем поглощенного CO ₂ , дм ³	331,5	136,1
Сорбционная емкость, дм ³ /кг	147,3	59,7

При этом у хемосорбента ExtendAir сопоставимая с разработанным химическим поглотителем начальная скорость процесса более интенсивно снижается, возможно, за счет преждевременного высыхания продукта. Влажность химического поглотителя ExtendAir по химическому анализу после испытаний составляет 5%, в то время как влажность разработанного химического поглотителя после испытаний – 13%. Гидрофильный поливиниловый спирт, входящий в состав разработанного химического поглотителя, в отличие от гидрофобного полиэтилена, входящего в состав ExtendAir, способствует поддержанию влажности образца, необходимой для протекания процесса хемосорбции. Кроме того, газонепроницаемый полиэтилен частично блокирует химически активную поверхность хемосорбента. В связи с этим время работы до достижения объемной доли CO₂ в камере 1,3%, разработанного хемосорбента в 2 раза превышает время работы ExtendAir. Объем поглощенного CO₂, а также сорбционная емкость у разработанного химического поглотителя в 2,5 раза выше, чем у ExtendAir.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для очистки воздуха от CO₂ в замкнутых объектах предложено использовать листовой известковый химический поглотитель, полученный формованием смеси порошка гидроксида кальция и водного раствора поливинилового спирта с последующей сушкой и активацией.

2. Исследован процесс хемосорбции CO₂ из воздуха замкнутого объекта разработанным листовым известковым химическим поглотителем в сравнении с зарубежным аналогом – химическим поглотителем марки ExtendAir.

3. Установлено, что при объемном расходе CO₂ 20 дм³/ч время работы разработанного химического поглотителя по сравнению с зарубежным аналогом выше в 2 раза, а сорбционная емкость в 2,5 раза. За счет этого можно снизить массогабаритные характеристики систем очистки воздуха при использовании в них разработанного листового известкового химического поглотителя.

Список использованных источников

1. Гладышева, Т. В. Известковые хемосорбенты. Получение. Свойства. Применение / Т. В. Гладышева, Н. Ф. Гладышев, С. И. Дворецкий, Ю. А. Суворова – М. : Издательский дом «Спектр», 2015. – 184 с.
2. Суворова Ю. А. Композиционные поглотители диоксида углерода с полимерным связующим: аппаратурно-технологическое оформление производства и кинетика хемосорбции: дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 / Суворова Ю. А. ; ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; науч. рук. Н. Ц. Гагапова. – Тамбов, 2015. – 207 с.
3. Заявка WO2007117266, МПК А61Н31/00. System and method for providing a non-powered personal protective shelter / Oddo Richard, Mckenna Douglas, Suddard Oliver Vincent. – 2007-10-18.

References

1. Gladysheva, T. V. Lime chemisorbents. Getting. Properties. Application / T. V. Gladysheva, N. F. Gladyshev, S. I. Dvoretzkij, Y. A. Suvorova. – M. : “Spectrum” Publishing House, 2015. – 184 p.
2. Suvorova, Yu. A. Composite absorbers of carbon dioxide with a polymer binder: the hardware-technological design of the production and kinetics of chemisorption: dis. ... candidate. tekhn. Sciences : 05.17.08 / Yu. A. Suvorova ; FGOU VPO “TSTU” ; nach. hands. N. Ts. Gatapova. – Tambov, 2015. – 207.
3. Application WO2007117266, МПК А61Н31/00. System and method for providing a non-powered personal protective shelter / Oddo Richard, Mckenna Douglas, Suddard Oliver Vincent. – 2007-10-18.

УДК 543.226:661.183.124
ББК 35.115

Холодили́н Н. Ю.¹, Ферапонтова Л. Л.¹, Грунский В. Н.²

¹ОАО «Корпорация «Росхимзащита»
(Россия, г. Тамбов)

²РХТУ им. Д. И. Менделеева
(Россия, г. Москва)

О ВЛИЯНИИ СОРБЕНТА-НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОРБЦИОННО-АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Kholodilin N. Yu.¹, Ferapontova L. L.¹, Grunskiy V. N.²

¹OJSC Corporation «Roshimzaschita» (Russia, Tambov)

²RCHTU D. I. Mendeleeva (Russia, Moscow)

ABOUT THE IMPACT OF SORBENT-FILLER ON THE THERMAL STABILITY OF POLYMER MATRIX OF COMPOSITE SORPTION-ACTIVE MATERIALS

Аннотация. Методами термогравиметрического и дифференциального термического анализа установлена взаимосвязь между температурой термической деструкции композиционных сорбционно-активных материалов на основе полимеров фторпроизводных этилена и содержанием в них цеолита NaX.

Ключевые слова: адсорбент, полимерная матрица, термическая устойчивость.

Abstract. Methods thermogravimetric and differential thermal analysis the relationship between the temperature of thermal decomposition of composite sorption-active materials based on the zeolite and fluoric ethylene polymers and the content of zeolite NaX.

Keywords: adsorbent, a polymer matrix, thermal stability.

В последние 10 – 15 лет в мировой практике получения адсорбирующих материалов для защиты человека от негативного воздействия поражающих факторов химической и биологической природы наблюдается тенденция использования композиционных сорбционно-активных материалов (КСАМ) на основе неорганических сорбентов-наполнителей и полимерной матрицы [1 – 5].

Представленная работа является продолжением исследований по синтезу и изучению физико-химических КСАМ [6 – 10] на основе полимеров фторпроизводных этилена (фторопластов) и различных адсорбентов-наполнителей (цеолитов, силикагелей и др.) и направлена на выявление закономерностей влияния количества адсорбента-наполнителя в КСАМ на температуру их термической деструкции.

Экспериментальная часть. Для проведения исследований были синтезированы образцы КСАМ с различным содержанием адсорбента-наполнителя, в качестве которого использовался цеолит NaX дисперсностью 4...6 мкм [6, 7, 9, 10]. В качестве поли-

мерной матрицы использовался фторопласт марки «Ф – 42В». В качестве растворителя использовался ацетон. Суть всех применяемых методов получения КСАМ заключается в приготовлении суспензии адсорбента-наполнителя в растворе полимера, формование полученной суспензии и удаление растворителя. Формование осуществлялось методами электроформования или литья. При синтезе образцов КСАМ содержание адсорбента-наполнителя в КСАМ варьировалось от 2 до 50% весовых. Для устранения возможного влияния различных факторов (природа растворителя и скорость его удаления на стадии сушки и др.) все остальные технологические параметры получения КСАМ [6, 7, 9, 10] оставались неизменными.

Термическую устойчивость полученных КСАМ изучали методами термогравиметрического и дифференциального термического анализа в неизотермических условиях на исследовательском комплексе TAG – 24 фирмы «Setaram». Исследовались образцы после стадии сорбции водяного пара массой 20...80 мг, что обеспечивает равномерность прогрева навески в ходе эксперимента и исключает наличие на термограммах эффектов, отвечающих переходу из неравновесного состояния в равновесное и способных повлиять на корректность полученных результатов [11]. Исследования проводились на воздухе при атмосферном давлении в температурном интервале от 20 до 500 °С. Выбор условий проведения термического анализа обусловлен тем, что именно при данных условиях происходит термическая регенерация адсорбентов на основе цеолита, сопровождающаяся максимальным воздействием на адсорбирующий материал [6, 7, 12]. Температуру регистрировали с точностью до 0,01 °С, изменения массы образцов фиксировались с точностью до 0,01 мг. Изучаемые образцы помещались в корундовый тигель. Для измерения температуры служила платиноплатинородиевая термопара, помещенная в объем изучаемого образца и проградуированная по общепринятым реперным точкам. Исследования проводились со скоростью нагрева 5...10 град/мин. Указанная скорость нагрева обеспечивает тождество температур по всему объему изучаемых образцов при проведении эксперимента. При скорости нагрева образцов меньше 5 град/мин и выше 12 град/мин наблюдается существенное отклонение кривой изменения температуры T от прямой линии, способное повлиять на достоверность полученных результатов. Данный экспериментальный факт объясняется нарушением равенства температур внешних и внутренних слоев навески изучаемых образцов, вызванного недостаточной теплопроводностью материалов [6].

При интерпретации экспериментальных данных было установлено, что характер кривых ТГА и ДТА всех образцов КСАМ аналогичен независимо от способа получения, поэтому на рис. 1 как пример приводятся результаты термических исследований образца КСАМ (весовое соотношение адсорбент-наполнитель/полимерная матрица равно 87/13), полученного путем дегидратации суспензии адсорбента-наполнителя в растворе фторопласта в поле СВЧ [8, 10]. Однако было отмечено, что положение на кривой ДТА пика, соответствующего процессу термической деструкции полимерной матрицы, зависит от количества в составе КСАМ адсорбента-наполнителя, о чем будет сказано ниже. В ходе проведения экспериментов было установлено, что при температуре $(91,7 \pm 1,5)$ °С начинается процесс десорбции водяного пара из КСАМ, проходящий

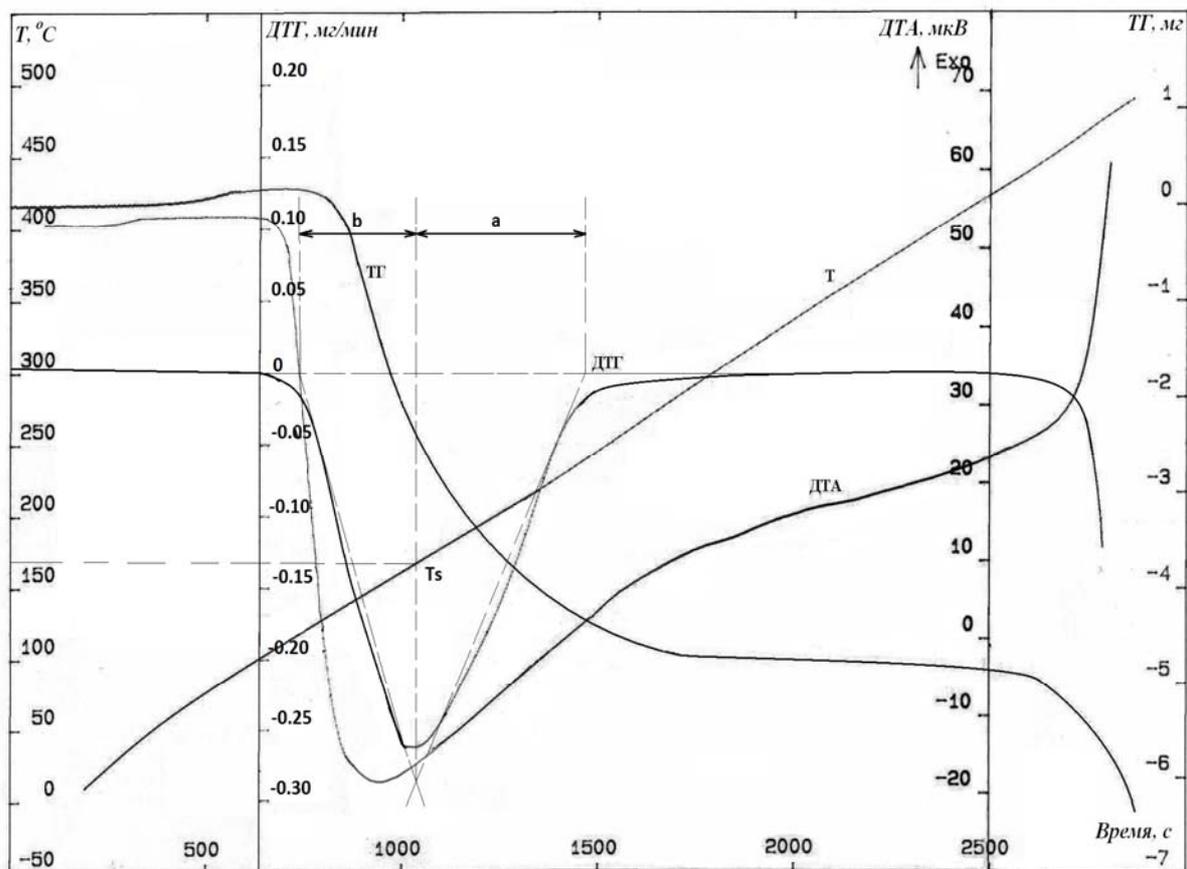


Рис. 1. Комплексный термический анализ КСАМ на основе цеолита NaX и фторопластовой матрицы

через максимум при $(172,7 \pm 1,1)$ °C и заканчивающийся при $(275,8 \pm 1,9)$ °C (первый эндотермический эффект на кривых ДТА и ДТГ). При этом наблюдается уменьшение массы изучаемых образцов КСАМ на $(26,0 \pm 0,2)$ %, (сорбционная емкость изучаемого образца составляет $\sim 26,1\%$ весовых), что свидетельствует о практически полной десорбции образцов изучаемых адсорбирующих материалов в условиях эксперимента. Данный постулат был подтвержден результатами анализа методом газовой хроматографии выделяющихся из КСАМ в температурном интервале 75...250 °C газообразных веществ: в проанализированном образце были зафиксированы только молекулы воды и в незначительном количестве ацетон, использующийся на стадии синтеза как растворитель.

Наличие на кривых ДТА в температурном интервале от 80 до 280 °C только одного эндотермического эффекта свидетельствует о том, что в процессе десорбции энергия затрачивается только на одну стадию – отрыв молекул адсорбата от поверхности адсорбента. Корректность данного предположения так же подтверждается тем фактом, что кривые ДТА и ДТГ десорбции воды из кристаллита NaX и КСАМ практически тождественны [6], что свидетельствует об отсутствии влияния матрицы из фторопласта и диффузии адсорбата во вторичной пористой структуре адсорбирующих материалов на величину энергии активации процесса десорбции. Данный вывод так же подтверждает

отсутствие влияния дисперсности кристаллического цеолита NaX на основные кинетические параметры процесса десорбции [6].

Из результатов термического анализа следует, что в диапазоне температур ~405...450 °С (в зависимости от состава образца) начинается процесс деструкции образца, сопровождающийся значительным экзотермическим эффектом на кривой ДТА и убылью веса (до 45% весовых в зависимости от состава образца) и имеющий максимум в диапазоне температур ~455...470 °С. Причем данный эффект в указанном выше температурном интервале наблюдается у всех исследованных образцов КСАМ независимо от способа получения и дисперсности исходного адсорбента-наполнителя. Интересно отметить тот факт, что при проведении термического анализа не было зафиксировано никаких эффектов при температурах сопоставимых с 360 °С (по литературным данным температура разложения фторопласта марки «Ф – 42В» [13]). Можно сделать предположение о повышении термостойкости полимерной матрицы КСАМ (фторопласта) за счет присутствия цеолита NaX.

Для подтверждения гипотезы о повышении термостойкости фторопластовой матрицы за счет присутствия цеолита NaX был проведен термический анализ образцов КСАМ, содержание адсорбента-наполнителя в которых варьировалось от 2 до 50% весовых. Рисунок 2 иллюстрирует выявленную зависимость смещения температуры начала термической деструкции полимерной матрицы от содержания адсорбента-наполнителя в КСАМ.

Из представленных графических данных следует, что при увеличении в составе КСАМ содержания адсорбента-наполнителя (в данном случае цеолита NaX) с 3 до 26% весовых происходит увеличение температуры начала деструкции матрицы из фторопласта Ф – 42 с 405 до 449 °С. Дальнейшее увеличение содержания адсорбента-наполнителя оказывает на температуру начала деструкционных процессов несущественное влияние.

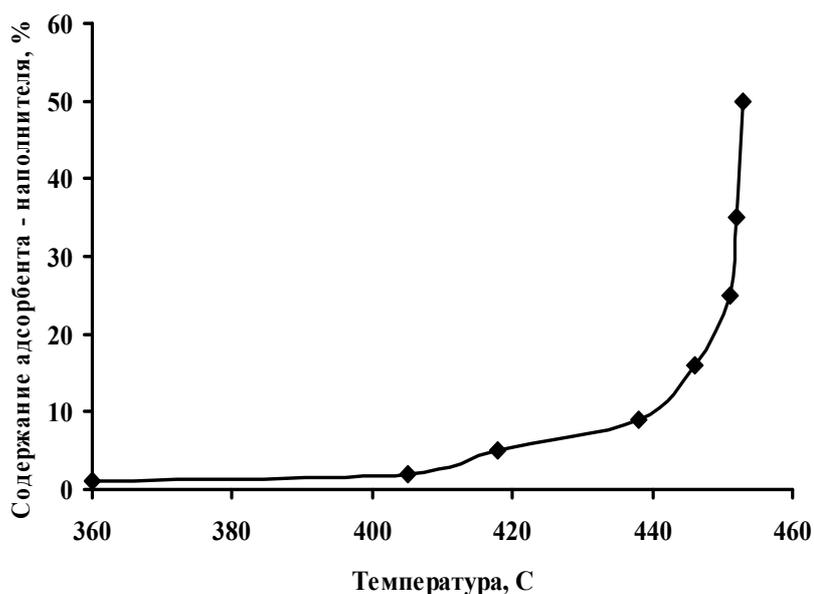


Рис. 2. Зависимость температуры термической деструкции полимерной матрицы КСАМ от содержания адсорбента-наполнителя

Выводы.

1. Анализ совокупности проведенных исследований термической устойчивости КСАМ на основе матрицы из фторопласта марки «Ф – 42В» и цеолита NaX позволяет утверждать, что термическая деструкция матрицы начинается в температурном интервале 405...450 °С в зависимости от состава образца.

2. Установлен факт повышения термостойкости полимерной матрицы из фторопласта марки «Ф – 42В» на 45...90 °С при введении в нее больше 3 % весовых цеолита NaX.

Список использованных источников

1. Aristov, Yu. I. // J. Chem. Eng. Jpn. – 2007. – V. 40, N 13. – P. 1241 – 1251.
2. Akyil, S., Eral M. J. // Radioanal. and Nucl. Chem. – 2005. – V. 266, N 1. – P. 89 – 93.
3. Пат. 1323468 EPB. МПК B01J 20/18. Adsorbing material comprised of porous functional solid incorporated in a polymer matrix.
4. Пат. 2939330 Fr. МПКB01J 20/18. Adsorbant zeolitique a liant organique.
5. Пат. 7655300 US. МПКB32B5/16. Transparent zeolite – polymer hybrid material with tunable properties.
6. Ферапонтова, Л. Л. Получение адсорбентов на основе цеолита с использованием в качестве связующего полимеров фторпроизводных этилена и изучение их физико – химических свойств / Л. Л. Ферапонтова, Н. Ф. Гладышев, С. Б. Путин. // Химическая технология. – 2011. – Т. 12, № 4. С. 215 – 222.
7. Ферапонтова, Л. Л. Выбор оптимальных условий получения композиционных сорбционно-активных материалов на основе цеолита и фторпроизводных этилена / Л. Л. Ферапонтова, С. Б. Путин // Химическая технология. – 2012. – Т. 13, № 1. – С. 11 – 17.
8. Ферапонтова, Л. Л. Изучение физико-химических свойств композиционных сорбционно-активных материалов на основе цеолита и фторпроизводных этилена / Л. Л.Ферапонтова, Н. Ф. Гладышев, Ю. А. Ферапонтов, С. Б. Путин, В. В. Родаев, Ю. И. Головин // Прикладная химия. – 2012. – Т. 85. – Вып. 3, – С. 470 – 476.
9. Пат. 2444404 РФ, МПК B01J 20/18. Способ получения агломерированного цеолита.
10. Пат. 2446876 РФ, МПК B01J 20/30. Способ получения формованного сорбента.
11. Берг, Л. Г. Введение в термографию. – М. : Наука. 1969. – 395 с.
12. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники / Н. В. Кельцев. – М. : Химия. 1976. – 511 с.
13. Чегодаев, Д. Д. Фторопласты / Д. Д. Чегодаев, З. К. Наумова, Ц. С. Дунаевская. – Л. : Госхимиздат. 1960. – 192 с.

References

1. Aristov, Yu. I. // J. Chem. Eng. Jpn. – 2007. – V. 40, N 13. – P. 1241 – 1251.
2. Akyil, S., Eral M. J. // Radioanal. and Nucl. Chem. – 2005. – V. 266, N 1. – P. 89 – 93.
3. Pat. 1323468 YeRV. МПК B01J 20/18. Adsorbing material comprised of porous functional solid incorporated in a polymer matrix.

4. Pat. 2939330 Fr. MPK V01J 20/18. Adsorbant zeolitique a liant organique.
5. Pat. 7655300 US. MPK V32B5/16. Transparent zeolite – polymer hybrid material with tunable properties.
6. Ferapontova, L. L. Poluchenie adsorbentov na osnove tseolita s ispolzovaniem v kachestve svyazuyushchego polimerov ftorproizvodnykh etilena i izuchenie ikh fiziko – khimicheskikh svoystv / L. L. Ferapontova, N. F. Gladyshev, S. B. Putin // Khimicheskaya tekhnologiya. – 2011. – T. 12, N 4. – P. 215 – 222.
7. Ferapontova, L. L. Vybor optimalnykh usloviy polucheniya kompozitsionnykh sorbtsionno-aktivnykh materialov na osnove tseolita i ftorproizvodnykh etilena / L. L. Ferapontova, S. B. Putin // Khimicheskaya tekhnologiya. 2012. T. 13, N 1. P. 11 – 17.
8. Ferapontova, L. L. Izuchenie fiziko-khimicheskikh svoystv kompozitsionnykh sorbtsionno-aktivnykh materialov na osnove tseolita i ftorproizvodnykh etilena / L. L. Ferapontova, N. F. Gladyshev, Yu. A. Ferapontov, S. B. Putin, V. V. Rodaev, Yu. I. Golovin // Zhurn. Prikladnoy khimii. – 2012. – T. 85. – V. 3. – P. 470 – 476.
9. Pat. 2444404 RF, MPK B01J 20/18. Sposob polucheniya aglomerirovannogo tseolita.
10. Pat. 2446876 RF, MPK B01J 20/30. Sposob polucheniya formovannogo sorbenta.
11. Berg, L. G. Vvedenie v termografiyu. – M. : Nauka. 1969. – 395 p.
12. Keltsev, N. V. Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki / N. V. Keltsev. – M.: Khimiya, 1976. – 511 p.
13. Chegodaev, D. D. Ftoroplasty / D. D. Chegodaev, Z. K. Naumova, Ts. S. Dunaevskaya. – L. : Goskhimizdat. 1960. – 192 p.

УДК 355.585

ББК 33.79

Пилягина А. О., Матвеев С. В., Рылов Ю. Б., Лаверов В. А., Орлова М. С.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита»

(Россия, г. Тамбов)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Pilyagina A. O., Matveev S. V., Rylov Yu. B., Laverov V. A., Orlova M. S.

OJSC Corporation “Roshimzaschita”

(Russia, Tambov)

PROSPECTIVE WAYS OF DEVELOPMENT OF MEANS OF COLLECTIVE PROTECTION FROM CARBON DIOXIDE

Аннотация. Представлены перспективные направления в разработке средств коллективной защиты органов дыхания от диоксида углерода. Разработка новых технологий защиты, новых средств и систем жизнеобеспечения позволит осуществить модернизацию существующих объектов, а также разработку новых объектов, обладающих современными защитными качествами.

Ключевые слова: средства коллективной защиты, очистка воздуха, поглотители, поглощение диоксида углерода.

Abstract. Presents promising directions in the development of collective respiratory protection against carbon dioxide. The development of new security technologies, new tools and support systems will allow for the modernization of existing facilities and the development of new facilities, with advanced protective qualities.

Keywords: collective protection, cleanair, absorbers, absorption cartridge.

Существует около тридцати способов очистки газа от повышенной концентрации диоксида углерода. Эффективное удаление диоксида углерода необходимо для создания условий нормальной жизнедеятельности людей в условиях замкнутого пространства, поскольку накопление диоксида углерода смертельно опасно для человека.

В настоящее время ОАО «Корпорацией «Росхимзащита» ведется разработка изделий, которые при сохранении габаритно-присоединительных характеристик существенно улучшат показатель массы изделия, будут иметь больший гарантийный срок, снизят нагрузку на систему тепло-влажностного регулирования объектов за счет применения литиевого поглотителя с более высокой сорбционной емкостью, по сравнению с химическим известковым поглотителем.

Разрабатываемые литиевые изделия имеют следующие преимущества перед морально-устаревшими аналогами:

- масса в 1,6 раза меньше, что снижает материалоемкость патрона, трудоемкость изготовления и обслуживания при эксплуатации;
- цельносварная конструкция патрона обеспечивает высокую технологичность изготовления, герметичность изделия (без применения герметиков и определения коэффициента подсоса);
- исключение из технологии изготовления технологического процесса нанесения лакокрасочного покрытия на внутренние поверхности металлических деталей вследствие отсутствия коррозии на внутренних поверхностях;
- аэродинамическое сопротивление патрона на 5 мм вод. ст. ниже, чем у аналога вследствие отсутствия спекания продукта при обработке;
- увеличенный перерыв в работе в случае отключения электроэнергии.

Усовершенствованные конструкторские решения, в совокупности с новейшими технологиями производства обеспечат в перспективе значительное улучшение защитных, эксплуатационных, эргономических характеристик средств коллективной защиты.

Производственные мощности предприятий Корпорации подстраиваются под текущие потребности в изготовлении тех или иных видов продукции и, при необходимости ее увеличения (снижения, оптимизации), соответствующие мероприятия планируются и реализуются в рамках программ технического и технологического перевооружения предприятий.

Инновационные технологии производства специальных химических продуктов включают разработку и внедрение технологий жидкофазного синтеза надпероксидов натрия, калия, пероксидов кальция, магния, цинка и других пероксидных соединений, а также композиционных надпероксидов и пероксидсодержащих веществ с контролируемыми и регулируемыми свойствами, как сырьевой основы для производства регенеративных продуктов, используемых при выпуске систем химической регенерации воздуха, как элементов систем жизнеобеспечения обитаемых герметизированных объектов различного назначения и базирования.

В связи со сменой основных технологий в мире и заменой их на более производительные и имеющие меньший объем продаж необходимо использование композитных материалов не только при производстве химических продуктов, но и использование композитных конструкционных материалов. Для этого предлагается использовать промышленные 3D-принтеры, которые потребуют исключения из технологических процессов изготовления целых участков. Быстрое создание моделей, на основе 3D-моделирования, точных пластиковых макетов с высокой разрешающей способностью и высококачественных функциональных моделей обеспечит построение деталей аддитивным методом с использованием проектора с высокой разрешающей способностью и цифровой обработкой света (DLP) для отверждения жидкого фотополимера. Получаемые таким способом пластиковые компоненты сравнимы с изготовленными литьем под давлением по точности, свойствам материала, уровню детализации и качеству отделки поверхности (3D-принтер). Это позволит сократить время и повысить качество процесса создания новых средств защиты.

Композиционные материалы (КМ) или композиты – многокомпонентные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др.

В основном используются углепластики (карбон), органопластики (кевлар, СВМ) и стеклопластики. В качестве наиболее часто встречающихся материалов для армирования композитов используются волокна, тканые материалы или пленки, изготовленные из углерода, арамида или стекла. Для производства высококачественных композитов в качестве связующих используются эпоксидные, фенольные и полиэфирные смолы. Изготовление высокопрочных композитов производится из углеродных волокон.

Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиковыми является их низкая плотность и более высокий модуль упругости. Углепластики – очень легкие и, в то же время, прочные материалы. Углеродные волокна и углепластики имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения. Все углепластики хорошо проводят электричество, черного цвета, что несколько ограничивает области их применения. Например, удельная плотность углепластиков находится в пределах $1,45 - 1,7 \text{ г/см}^3$, а у стали плотность – $7,85 \text{ г/см}^3$.

Поиски новых высокоэффективных процессов, систем, материалов с высокой сорбирующей способностью к диоксиду углерода, продолжаются. Для различных областей используется тот или иной процесс очистки от диоксида углерода с подбором соответствующего адсорбента или хемосорбента [1 – 3].

Одним из способов улучшения технических характеристик поглотителей диоксида углерода в последнее десятилетие рассматривается направление по изменению их формы, переходу от гранул к листовому материалу, что позволяет изготовить хемосорбент в виде ленты, листа, рулона и др. Такой прием позволит развернуть и увеличить активную поверхность для успешного протекания процесса хемосорбции, снизить массогабаритные характеристики изделий, в которых он будет применяться.

Создание и внедрение представленных, а также других передовых технологий, схемных и конструктивных решений, принципов построения систем коллективной защиты человека в условиях химической опасности позволит уже в среднесрочной перспективе разработать новое поколение коллективных средств защиты органов дыхания решить ключевую задачу в области создания национальной системы химической безопасности – повысить уровень защищенности людей перед лицом существующих и будущих угроз химической направленности.

Список использованных источников

1. Пат. РФ № 2259231. Способ изготовления химического адсорбента диоксида углерода, приоритет. Архипова М. П., Гладышев Н. Ф., Гладышева Т. В., Козадаев Л. Э., Путин Б. В., Путин С. Б., Симаненков Э. И., Тяников А. В. Открытое акционерное общество «Корпорация «Росхимзащита» (ОАО «Корпорация «Росхимзащита») (RU), Министерство промышленности и торговли (RU), опубл. 20.02.2010.

2. Пат. РФ № 2091095. Способ очистки воздуха от двуокиси углерода в обитаемом отсеке объекта коллективной защиты / Шулежко В. Ф., Руденко И. В. и др. Центральный научно-исследовательский институт Министерства Обороны РФ. – заявка № 95111856/12 ; – заявл. 11.07.1995 ; опубл. 27.09.1997. – 4 с.

3. Полезная модель РФ 113153. Устройство для регенерация воздуха / Лаверов В. А., Матвеев С. В., Усов В. Н., Путин С. Б.

References

1. Pat. № 2259231 Russian Federation. A method of manufacturing a chemical adsorbent carbon dioxide priority. Arkhipova M. P., Gladyshev N. F., Gladysheva T. V., Kozadaev L. E., Putin D. V., Putin S. B., Simanenkov E. I., Tyanikov A. V. applicant OJSC «Corporation «Roshimzaschita», patent holder the Ministry of industry and trade (RU), publ. 20.02.2010.

2. Pat. 2091095 Russian Federation. Air purification method of carbon dioxide in the crew compartment of the object of collective protection / Shulezhko V. F., Rudenko I. V. and other: applicant and patent holder Central Research Institute of the Ministry of Defence. – N 95111856/12 ; stated 11.07.1995 ; published 27.09.1997. – 4 p.

3. The utility model 113,153. A device for the regeneration of the air / Laverov V. A., Matveev S. V., Usov V. N., Putin S. B. applicant and patent holder OJSC«Corporation «Roshimzaschita». – N 2011139687/12 ; stated 29.09.2011 ; published 10.02.2012. – 6 p.

УДК 614.8.084

ББК Ц903

**Сухорукова Т. А., Борщев В. Я., Михайлова Л. Г.,
Михайлова Е. Г., Огородникова А. Г.**
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

К ВОПРОСУ О ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПАО «ПИГМЕНТ»

**Sukhorukova T. A., Borshchev V. Ia, Mikhailova L. G.,
Mikhailova E. G., Ogorodnikova A. G.**
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

TO THE QUESTION OF INDUSTRIAL SAFETY AT JSC “PIGMENT”

Аннотация. Проведен анализ промышленной безопасности на ПАО «Пигмент». В результате установлены основные причины аварий на различных участках предприятия. Сделан вывод о необходимости модернизации устаревшего технологического оборудования.

Ключевые слова: авария, промышленная безопасность, опасный производственный объект.

Abstract. The analysis of industrial safety at JSC “Pigment”. The study revealed the main causes of accidents on various parts of the enterprise. The conclusion about the need to modernize an outdated technological equipment.

Keywords: accident, industrial safety, hazardous production facility.

ПАО «Пигмент» г. Тамбова является опасным производственным объектом, так как на нем хранятся и перерабатываются опасные вещества. Важнейшей задачей процесса обеспечения промышленной безопасности опасных производственных объектов является идентификация опасностей, заключающаяся в выявлении и четком описании всех источников опасностей и путей их реализации. В процессе идентификации необходимо установить элементы, технические устройства, технологические блоки или процессы в технологической системе, требующие тщательного анализа, и наоборот, представляющие меньший интерес с точки зрения безопасности [1].

Идентификация опасностей осуществляется с использованием достаточно большого числа методов. В результате идентификации опасностей устанавливаются: перечень нежелательных событий; описываются источники опасностей, факторы риска, условия возникновения и развития нежелательных событий; предварительные оценки опасности и риска.

На заключительном этапе идентификации опасностей выбирается дальнейшие направления деятельности. В качестве альтернатив дальнейших действий рассматриваются: решение закончить последующий анализ вследствие незначительности опасностей или достаточности полученных предварительных оценок; решение о необходимости

проведения тщательного анализа опасностей и оценки риска; выработка предварительных рекомендаций по уменьшению опасностей.

Целью настоящей работы является оценка состояния промышленной безопасности на опасном производственном объекте на примере ПАО «Пигмент» г. Тамбова.

В настоящей работе анализ развития аварийной ситуации проведен с использованием процедуры «дерева событий». В качестве аварийной ситуации рассмотрен пролив ацетона из технологической емкости.

В результате пролива ацетона могут произойти два события с определенной вероятностью: пролитая жидкость и ее пары мгновенно воспламенятся, или мгновенного воспламенения не произойдет. В случае мгновенного воспламенения может иметь место факельное горение или воспламенение с огненным шаром. Далее может произойти «обычное» воспламенение от источника искр или электрооборудования. Если произошло «обычное» воспламенение, то может возникнуть пожар в цехе. Если не произошло «обычное» воспламенение, то приступают к ликвидации аварии.

В результате анализа дерева событий установлено, что наиболее вероятный исход при разгерметизации емкости с ацетоном, такой: не произойдет мгновенного воспламенения, не возникает «обычное» воспламенение от искры, и начинается ликвидация аварии.

В результате исследования основных технологических потоков на ПАО «Пигмент» выявлены наиболее опасные составляющие производственных участков и определены возможные причины аварий.

Для предотвращения аварий и снижения убытков от них необходимо знать возможные причины возникновения аварий и факторы, способствующие возникновению и развитию аварий [2].

Проведем анализ причин возникновения аварий в различных производствах на ПАО «Пигмент».

На площадке производства пигментов и красителей основными факторами, способствующими возникновению и развитию аварии являются: наличие на объекте ЛВЖ, олеума, серной кислоты, являющихся опасными веществами, создающими опасность аварийного выброса большого количества опасного вещества при аварийной разгерметизации системы; коррозионная активность кислот создает дополнительную опасность разгерметизации системы; наличие периодического недостаточно автоматизированного процесса наполнения железнодорожных цистерн создает дополнительную опасность аварийной разгерметизации при переполнении цистерны.

При этом могут иметь место следующие причины аварий: ошибки персонала при ведении технологического процесса; перелив из емкости с токсичным веществом; разгерметизация цистерны, находящейся под сливом; разгерметизация трубопроводов, арматуры; коррозионный и механический износ оборудования и трубопроводов с токсичным веществом; повреждение трубопроводов, аппаратуры, арматуры.

На площадке производства лакокрасочного материала факторами, способствующими возникновению и развитию аварии могут быть: наличие на объекте ЛВЖ, серной кислоты, являющимися опасными веществами, создающими опасность аварийного выброса большого количества опасного вещества при аварийной разгерметизации системы; образование пожаровзрывоопасного облака в помещении склада, цеха; пожар; взрыв парогазовоздушной смеси в помещении с ЛВЖ.

Возможными причинами аварий на этой площадке являются: ошибки персонала при ведении технологического процесса; перелив из емкости с токсичным веществом; разгерметизация цистерны, находящейся под сливом; разгерметизация трубопроводов, арматуры; коррозионный и механический износ оборудования и трубопроводов с токсичным веществом; повреждение трубопроводов, технологического оборудования, арматуры; наружное повреждение стенок цистерны, трещина, сквозные отверстия в оборудовании, трубопроводах, арматуре при коррозионном износе; неплотности фланцевых соединений.

Наиболее типичными факторами, которые способствуют возникновению и развитию аварий на различных производствах являются наличие различных опасных веществ, создающих опасность аварийного выброса, возможность образования пожаро-взрывоопасного облака в помещении склада, цеха, повышенный коррозионный и механический износ трубопроводов и технологического оборудования.

Как следует из проведенного анализа, основными возможными причинами аварий в различных производствах на ПАО «Пигмент» являются человеческий фактор, приводящий к ошибкам при ведении технологического процесса, разгерметизации арматуры и трубопроводов, коррозионный и механический износ оборудования и трубопроводов с токсичным веществом, различные повреждения технологического оборудования при коррозионном износе, неплотности фланцевых соединений.

Процессы, связанные с хранением сжиженного аммиака и олеума в изотермических хранилищах, не относятся к сложным химическим процессам. Однако, принимая во внимание количество обращающегося в процессе аммиака, олеума, размеры оборудования, трубопроводов и арматуры, даже небольшие в процентном отношении к общему потоку утечки аммиака могут привести к образованию токсичного облака, действие которого может распространиться за пределы территории предприятия.

В числе негативных факторов, которые могли бы инициировать и способствовать развитию аварийных ситуаций на резервуаре, рассматривались: длительные отключения электро- и водоснабжения; отказы конструкции резервуаров; отказы компрессорного оборудования; отказы трубопроводов системы хранения; отказы приборов контроля и автоматики (КИ-ПиА); ошибки персонала; воздействие природных и других внешних характеров.

Основной причиной аварий на предприятии является возможность образования предельных концентраций опасных химических веществ, вследствие разгерметизации аппаратуры или оборудования.

Одной из главных задач на данном этапе по локализации аварийной ситуации является проведение работ по уменьшению поверхности розлива, т.е. снижение скорости испарения ЛВЖ.

В случае аварийной разгерметизации емкостей с ЛВЖ поступление паров в атмосферу происходит более медленно. Теперь автоматические газоанализаторы известят о присутствии паров в воздушной среде уже при концентрациях, несколько превышающих ПДК рабочей зоны, тем самым предупредят технический персонал о начале возникновения аварии на объекте.

Формирование приземного облака и его рассеяние в атмосфере протекает сравнительно медленно, времени для применения средств индивидуальной защиты и самостоя-

тельного выхода и эвакуации людей из загазованной зоны будет достаточно. Во многом токсический эффект поражения будет определяться правильностью действий персонала.

Основной экономической ущерб от аварии с олеумом на ПАО «Пигмент» будет связан с гибелью персонала, выплатой пострадавшим, разрушением оборудования, потерей продукции и остановкой производства с соответствующими упущенными экономическими выгодами. В случае аварийной разгерметизации емкостей с олеумом сам олеум не представляет угрозы для зданий, сооружений, оборудования, но могут пострадать леса, сельскохозяйственные угодья, расположенные вокруг предприятия. На основании данных, наиболее опасные последствия аварий на предприятии связаны с утечкой олеума и токсичным поражением людей при разгерметизации и разрушении емкостного оборудования с выбросом олеума. Как показывает статистика, при всех особенностях, аварии с олеумом развиваются, как правило, по наиболее общему сценарию: разгерметизация емкостей от коррозии или другие причины повреждения; выброс (пролив) олеума.

Основными причинами потери герметичности емкостного оборудования складов олеума могут быть: коррозия и износ материалов; отказы арматуры (предохранительных клапанов и т.д.); ошибки технического персонала; выход технологических параметров за критические значения; повреждение оборудования и трубопроводов; диверсия и т.д.

Статистические данные и опыт эксплуатации подобных объектов позволяют считать, что вероятность аварийной разгерметизации оборудования незначительна. Существующий уровень риска на химически опасных объектах составляет 10^{-6} в год.

При авариях с разрушением емкости с олеумом возможны случаи со смертельным исходом, если персонал окажется в момент аварии в непосредственной близости от источника выброса без средств защиты, а также из-за неблагоприятных погодных условий. Во многом токсический эффект поражения определяется правильными действиями персонала.

В результате выполненного анализа промышленной безопасности на ПАО «Пигмент» сделаны следующие выводы:

- выполнение на заводе норм и правил в области промышленной безопасности обеспечивает соответствующие условия эксплуатации технологического оборудования;
- вероятность возникновения аварий на анализируемом объекте увеличивается в основном вследствие использования устаревшего и выработавшего ресурс оборудования;
- выход из строя технологического оборудования, как правило, сопровождается незначительными утечками через фланцевые соединения, запорную арматуру, которые ликвидируются силами производственного персонала.

Список использованных источников

1. Маршалл, В. Основные опасности химических производств. М. : Мир. – 1989. – 672 с.
2. Котляревский, А. В. Аварии и катастрофы. – Изд-во АСВ, 2002. – Т. 1. – 320с.

References

1. Marshall, V. Major hazard chemical plants / V. Marshall. – M. : Mir. – 1989. – 672 p.
2. Kotlyarevsky, A. V. Accidents and disasters. – Publishing house of the ASV. 2002. – V. 1. – 320 p.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ,
СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ, ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

УДК 621.382(076)

ББК 3852я73-5

Korolev A. P., Makarchuk M. V., Badirova N. B.

Tambov State Technical University

POROUS SILICON IS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING SENSORS

Королев А. П., Макаrchук М. В., Бадирова Н. Б.

Тамбовский государственный технический университет

**ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ ДЛЯ СЕНСОРОВ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Abstract. In our work the electrical properties of porous silicon have been investigated, obtained on substrates of different types of conductivity: *n*- and *p*-type. It was to analyze the effect of various gases on the electric conductivity of porous silicon.

Keywords: porous silicon, electric conductivity, gas sensor.

Аннотация. В работе исследованы электрические свойства пористого кремния, полученного на подложках различного типа проводимости: *n*- и *p*-типа. Проанализировано влияние различных газов на электропроводность пористого кремния.

Ключевые слова: пористый кремний, электропроводность, датчик газа.

The porous silicon (PS), as has been noted in various sources, is a material with specific electrophysical properties, so it is necessary to carry out research properties as compared with monocrystalline silicon. For this purpose two types of measuring cells were prepared as shown in Figure 1.

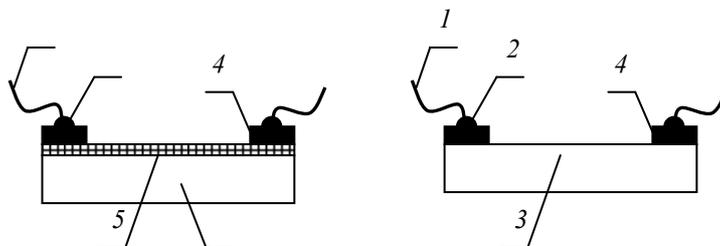


Figure 1. Measuring cells:

1 – electrical terminals; *2* – conductive adhesive;

3 – silicon wafer *p*- (or *n*-) type; *4* – pads; *5* – porous layer

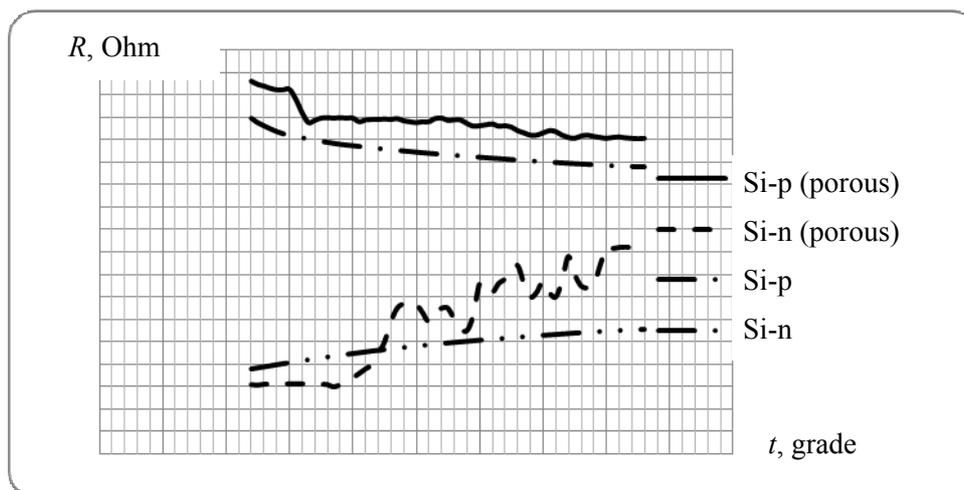


Figure 2. Temperature dependence of the resistance of the samples

Of the several received two samples of porous silicon with the most uniform structure were selected. It samples obtained on n-Si and p-Si substrates under the same conditions of the electrochemical etching: etching time is 15 min., the voltage applied to the electrodes is 10B, the current density passing through the plate is $0,35 \text{ mA} / \text{mm}^2$ in the electrolyte solution $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:2$.

To determine the temperature dependence of the resistance measuring cells are heated in a vacuum. The sample temperature was monitored by a thermocouple mounted thereon, and the resistance was measured using an ohmmeter. The measurement results are presented in graph form in Figure 2.

The graphs of temperature dependences can be seen that the curves of samples with a porous structure are pronounced non-linearity. This can be explained by the fact that there is gripping porous particle layer of residual gas environment in which the experiment was conducted. You can see what happened resistance decrease with increasing temperature at the structures on silicon p-type, it is characteristic of semiconductors. However, the resistance of the samples on the substrate n-Si increased with increasing temperature. But as in our possession was heavily doped silicon, some properties are similar to those of conductors, decrease in conductivity is conforming to the laws of nature. To determine the current-voltage characteristics of the measuring cell to a voltage controlled by voltmeter and current readings were taken with a milliammeter in series in the circuit.

Some experiments were performed. First, simply defined curve BAX. Then we put on the surface of a drop of distilled water and repeat measurement. After evaporation was verified that the readings back to the initial data.

Next, on the surface of the samples were put into toluene solution fullerenes and BAX curve determined. After the samples were incubated for 2 days to evaporate fullerenes from the surface and annealed up to 100 degrees under vacuum.

Then were conducted experiments coated with a porous layer of carbon nanofibers.

The graphs BAX can be seen as a characteristic properties of the porous structure change when applied to the surface of low-dimensional objects. The curves for structures with nanofibers and fullerenes are clearly visible vibrations. This can be explained by the quantization

levels. And on the curves for distilled water samples are also visible vibrations that can be attributed to the error of measuring devices. But the thin membrane of water also has some semiconductor properties and the interaction with the porous surface we may obtain a type of structure semiconductor-semiconductor with different energy levels.

In addition, the graphs show that after the removal of water or nano-objects from the sample surface are equalized BAX curves, i.e. the measuring cell is clearly reacts to the presence of nano-objects in the material.

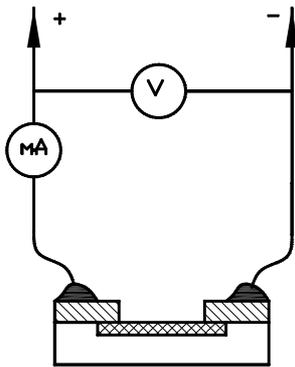


Figure 3. Scheme for the determination of current-voltage characteristics

As a result of the above analysis it can be assumed that it is possible to use a porous silicon sensors in the detection of nano-objects. However, quantitative indicators of such a device cannot give. For more accurate calibration is necessary to conduct additional studies.

One of the uses of the PS has as a gas sensor. High sensitivity gas PSs there because of the great development of its surface structure. Depending on the porosity and the pore geometry, the total area of its inner surface can be between 10 and $800 \text{ m}^2/\text{cm}^3$.

In this paper we investigate the effect of various gases on the electrophysical properties the PS. For the experiments the sample was made from single-crystal silicon with a porous layer and the method of the experiment has been developed.

To carry out the experiment on the sample was applied to a voltage controlled by voltmeter and current readings were taken with a milliammeter in series in the circuit (Figure 3).

First, the curve BAX is determined from a sample in a vacuum (10^{-1} Pa) and then from samples in the atmosphere of methane, argon, butane and alcohol vapor (Figure 4).

According to the results of experiments graphs of BAX curves were drawn.

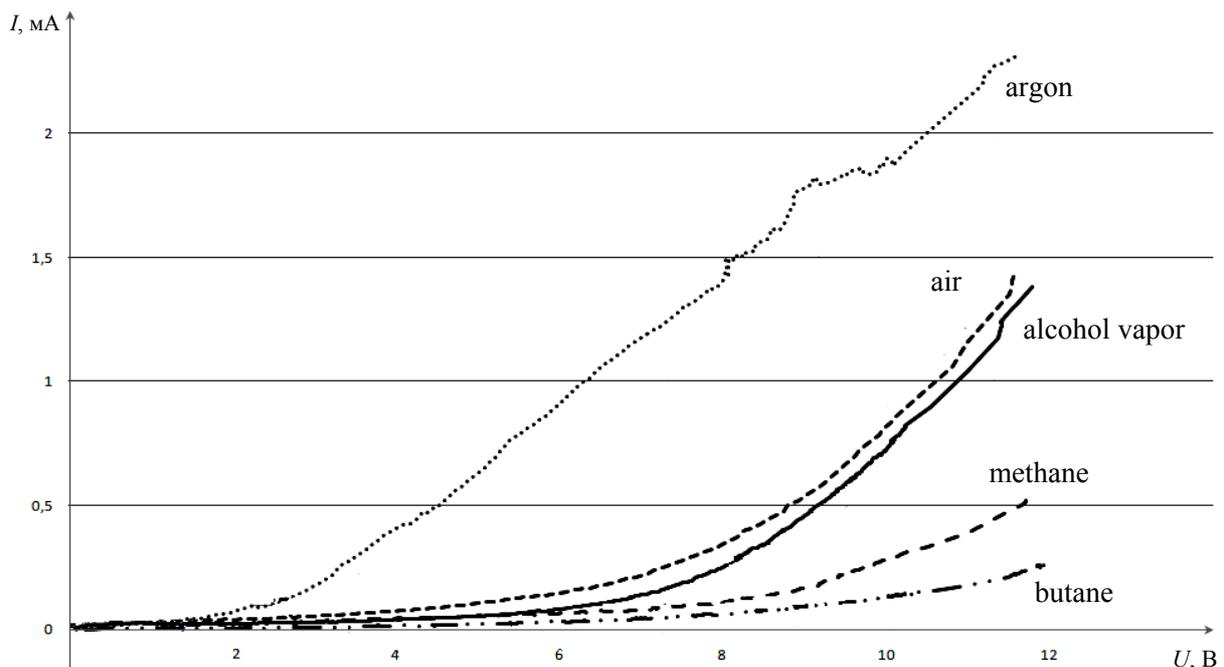


Figure 4. The current-voltage characteristic of the sample on the porous silicon substrate

In the analysis of the current-voltage characteristics of the graphs is easy to see that the properties of the samples (i.e. samples in the methane, argon, alcohol vapor, butane, as well as a low vacuum) different from each other.

This can be explained by the presence of each gas atoms their energy levels. That is, each gas combined with the size and shape of the potential hole which formed at the interface $\text{SiO}_2\text{-Si}$. Accordingly, it is changing the electrical conductivity of the samples. The results in the future could be used to create a device for identification of gases.

References

1. See, S. Physics of Semiconductor Devices: In 2 books. Bk. 1. – М. : “Mir”, 1984. – 456 p.
2. Bonch-Bruevich, V. L. Semiconductor Physics / V. L. Bonch-Bruevich, S. G. Kalashnikov. – М. : Nauka, 1977. – 672 p.
3. Korolev, A. P. Solid State Primary Initial Transformer Design for Heat Values Measurement / A. P. Korolev, V. P. Shelochvostov, V. N. Chernyshov // Journal of Tambov State Technical University. – 1999. – V. 5, N 4. – P. 536 – 542.

Список использованных источников

1. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. – М. : «Мир», 1984. – 456 с.
2. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. – М. : Наука, 1977. – 672 с.
3. Korolev, A. P. Solid State Primary Initial Transformer Designfor Heat Value Measurement / A. P. Korolev, V. P. Shelochvostov, V. N. Chernyshov // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 1999. – Т. 5, N 4. – С. 536 – 542.

УДК 637.002.69

ББК 26.21

Кузнецов М. А.¹, Григорьев Е. Б.², Нестеров П. А.³

¹ Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

² ПАО «Газпром ВНИИГАЗ»
(Россия, г. Москва)

³ ПАО Тамбовский завод «Электроприбор»
(Россия, г. Тамбов)

СОСТОЯНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД*

Kuznetsov M. A.¹, Grigoriev E. B.², Nesterov P. A.³

¹ Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

² LLC «Gazprom VNIIGAZ»
(Russia, Moscow)

³ LLC Tambov plant «Elektropryor»
(Russia, Tambov)

STATE LABORATORY GEOTHERMAL RESEARCH AND NEW APPROACHES TO THE PREDICTION OF THERMAL PROPERTIES OF SEDIMENTARY ROCKS

Аннотация. Представлен критический анализ состояния геотермальных исследований осадочного чехла Земли. Показана необходимость учета при оценке глубинной тепловой обстановки теплофизических свойств породы и насыщающих ее флюидов. Предложена методика прогнозирования теплоемкости углеводородонасыщенных карбонатных и песчаных пород.

Ключевые слова: тепловое поле, теплоемкость, теплопроводность горной породы.

Abstract. A critical analysis of the geothermal exploration of sedimentary cover of the Earth. The necessity of taking into account in assessing the depth of thermal conditions of thermal properties of the rock and fluids saturating it. The methods of forecasting the heat capacity of saturated hydrocarbons carbonate rocks and sand.

Keywords: thermal field, heat capacity, thermal conductivity of the rock.

Геотермия является разделом геофизики, в котором изучаются закономерности формирования тепловых полей Земли и особенности природы глубинных термодинамических и физико-химических процессов. Исследование характера изменения и рас-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант 14-08-00067а).

пределения теплофизических свойств глубокозалегающих слоев создают предпосылки решению различных геолого-геофизических задач, включая теоретические и прикладные задачи нефтегазовой терморазведки, прогнозирование закономерностей формирования и размещения аномальных тепловых зон, связанных с насыщенностью породы водой и углеводородами. С привлечением данных по тепловым характеристикам пород прогнозируются температуры на недостигнутых бурением глубинах, изучаются литологические особенности разрезов скважин, осуществляется контроль за разработкой месторождений углеводородов, эксплуатацией газовых хранилищ, оценка области теплового влияния скважин, поведение многолетнемерзлых пород и др.

Основными экспериментальными методами геотермии являются геофизическое исследование скважин (ГИС) и сейсморазведка. Последняя может дать только структурные данные о глубокозалегающих слоях осадочного чехла. Разведочное бурение – дорогостояще и ограничено по глубине и географии. Значительно расширить представления о глубинной тепловой обстановке могут лабораторные экспериментальные исследования теплофизических свойств горных пород при пластовых термобарических условиях. Основными теплофизическими свойствами являются теплопроводность и теплоемкость. Зная их можно рассчитать коэффициент температуропроводности, а следовательно, температуру в интересующей области.

По данным [1] вертикальные градиенты температур могут изменяться от $0,004 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$ до $0,07 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$. Аномально высокие градиенты температур, очевидно, связаны с насыщенностью породы флюидами. Экспериментально [2] установлено, что теплопроводность для водонасыщенных карбонатных пород изменяется до 90...160%, для терригенных 100...170%, для нефтенасыщенных карбонатных пород 30...140%, для терригенных 50...90%. Еще большее влияние может оказывать теплоемкость насыщающего флюида, т.к. вблизи критической точки она меняется на порядок.

Современное состояние лабораторных экспериментальных исследований теплофизических свойств горных пород при пластовых термобарических условиях можно охарактеризовать следующими положениями:

- основные исследования теплофизических свойств горных пород при пластовых температурах и давлениях (сухих, водо и углеводородонасыщенных) проведены в СССР и РФ в 70 – 90 годы XX века применительно к Предкавказью и Уралу;
- в достаточной степени отработаны методы экспериментального определения теплопроводности при температурах до 573 К и давлениях до 350 МПа абсолютными стационарными методами радиального теплового потока, плоского слоя и относительным способом регулярного теплового режима 3-го рода. Погрешность определения теплопроводности λ при этом составляет 4...5%. Методы достаточно трудоемкие и дорогостоящие, в связи с чем накопленный экспериментальный материал ограничен по географии и номенклатуре сочетаний «порода – насыщающий флюид – параметры состояния». Это не позволяет выполнить широкомасштабные обобщения и установить универсальные закономерности формирования глубинных тепловых полей;
- предложены эмпирические аппроксимационные уравнения, связывающие теплопроводность с температурой и давлением, установлены корреляционные связи между

некоторыми тепловыми свойствами и данными стандартного комплекса ГИС для водо- и битумнонасыщенных коллекторов;

- установлен характер изменения теплофизических свойств пласта в зависимости от его литологического состава, но лишь качественно оценено влияние на них насыщающего флюида. Не рассмотрены породы, насыщенные легкими углеводородами, которые при пластовых параметрах могут находиться в сверхкритических состояниях;

- отсутствуют универсальные методы прогнозирования теплофизических свойств углеводородов находящихся в порах при пластовых параметрах состояния;

- не исследованы закономерности изменения теплофизических свойств горных пород, при изменении фазового состояния насыщающих углеводородов;

- необходима разработка физически обоснованных корреляций теплофизических свойств углеводородонасыщенных горных пород с данными ГИС, что позволит разработать универсальные методы их прогнозирования.

Учитывая отмеченные пробелы в информации о свойствах углеводородонасыщенных пород, нами предпринята попытка разработать метод прогнозирования их теплоемкости при пластовых термобарических условиях.

Анализ статистических данных по опыту разработки и эксплуатации месторождений показал, что около 60% запасов углеводородов в мире приурочено к песчаным пластам и песчаникам, 39% – к карбонатным отложениям. В связи с этим, и учитывая сложность номенклатуры осадочных образований по их вещественному составу и структуре, при разработке метода мы ограничились рассмотрением именно этих пород.

Предлагается следующий алгоритм прогнозирования теплоемкости углеводородонасыщенной породы. В образце породы выделяются три основных компонента и по литологическим треугольникам [3] определяется его теплоемкость при заданной температуре. Теплоемкость горной породы, в отличие от ее теплопроводности, определяется только теплоемкостью составляющих ее минералов.

Влияние температуры на теплоемкость породообразующих минералов при построении литологических треугольников оценивалось по уравнению Майера-Келли [4]. Для песчаных пород установлено, что их теплоемкость слабо зависит от их минерального состава при температурах до 500 К.

Влияние давления на теплоемкость сухой породы можно оценить только качественно в связи с отсутствием систематизированных экспериментальных данных при давлениях до 100 МПа и строгой теории теплоемкости твердого тела. По косвенным данным можно предположить, что теплоемкость породы слабо зависит от давления, таким образом влиянием давления на скелет сухой породы при прогнозных расчетах можно пренебречь.

Углеводородный состав, насыщающего твердый образец флюида, при пластовый термобарических условиях может быть, довольно точно, определен по данным геофизического исследования скважины, а его теплоемкость рассчитана по авторским методам и программам описанным в работах [5, 6].

Тогда теплоемкость флюидонасыщенного образца породы может быть определена по аддитивной формуле (правило Неймана-Коппа): теплоемкость сложной системы равна сумме теплоемкостей образующих ее веществ.

Общая погрешность прогнозирования теплоемкости углеводородонасыщенной породы складывается из погрешности расчета теплоемкости насыщающего углеводорода и точности оценки влияния температуры на теплоемкость минерального скелета по формуле Майера-Келли.

К сожалению, без дополнительного систематизированного экспериментального изучения теплофизических свойств пород пластовых резервуаров точность их прогноза не выше 20...25%. В этой связи нами разработаны способы экспериментального исследования флюидонасыщенных горных пород и устройства для их реализации [7 – 9].

Реализация вышеизложенных положений на стыке геологии и теплофизики позволит усовершенствовать методологию моделирования теплового воздействия на пластовую флюидальную систему, оптимизировать технологии разработки и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений путем создания оптимальных условий фильтрации в широком диапазоне температур и давлений. Выявление термодинамических закономерностей системы скважина – массив горных пород, прогнозирование характера изменения температуры в стволе скважин может стать основой рекомендаций для мероприятий по исключению осложнений при их строительстве.

Список использованных источников

1. Стерленко, З. В. К вопросу о необходимости учета некоторых факторов при определении тепловых потоков в пределах нефтегазоносных площадей // Геология, поиски и разведка месторождений горючих полезных ископаемых. – Пермь, 1975. – Вып. 1. – С. 83 – 87.
2. Курбанов, А. А. Полиморфные превращения и аномальные явления теплопроводности в некоторых флюидонасыщенных карбонатных породах // Физика Земли. – 2002. – № 8. – С. 89 – 96.
3. Кузнецов, М. А. Теплоемкость флюидонасыщенных пород коллекторов месторождений углеводородов // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». Актуальные вопросы исследования пластовых систем месторождений углеводородов. ООО «Газпром ВНИИГАЗ». – Москва, 2015. – № 4(22). – С. 84 – 87.
4. Физическое материаловедение. Т. 2. Основы материаловедения. Гл. 4. Термодинамика в материаловедении : учеб. пос. – М. : МИФИ, 2007. – 227 с.
5. Кузнецов, М. А. Сравнительный метод расчета теплоемкости углеводородных газов при высоких параметрах состояния / М. А. Кузнецов, П. О. Овсянников // Вестник ТГТУ. – Тамбов, 2012. – № 2. – С. 123 – 130.
6. Кузнецов, М. А. Подобие термодинамических свойств углеводородов в сверхкритической области / М. А. Кузнецов, П. О. Овсянников // Вестник ТГТУ. – Тамбов, 2013. – № 2. – С. 134 – 139.

7. Пат. РФ на изобретение № 2461818. Способ измерения теплопроводности пористых тел при всестороннем давлении / Кузнецов М. А., Григорьев Е. Б. ; приоритет 18.04.2011 ; зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 20.09. 2012.

8. Пат. РФ на изобретение № 2492455. Устройство для измерения теплопроводности флюидонасыщенных под давлением пористых тел / Кузнецов М. А., Григорьев Е. Б. ; приоритет 17.02.2012 ; зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 10.09.2013.

9. Пат. РФ на изобретение № 2575473 Способ измерения влияния давления до 100 МПа на теплопроводность флюидонасыщенных пористых тел / Кузнецов М. А., Григорьев Е. Б. ; приоритет 28.10 2014 ; зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 22.01.2016.

References

1. Sterlenko, Z. V. On the question of the need to consider several factors when determining heat flows within the oil and gas areas // *Geology, searches and investigation of combustible minerals*. – Perm, 1975. – V. 1. – P. 83 – 87.

2. Kurbanov, A. A. Polymorphic conversion and thermal conductivity anomalies in some fluid-saturated carbonate rocks // *Physics of the Earth*. – 2002. – N 8. – P. 89 – 96.

3. Kuznetsov, M. A. The heat capacity of fluid-rock reservoir of hydrocarbons // *Scientific-technical collection "News gas science"*. Recent research questions of formation of systems of hydrocarbon deposits. "Gazprom VNIIGAZ" LLC. – Moscow, 2015. – N 4 (22) – P. 84 – 87.

4. Physical material. V. 2. Fundamentals of Materials. Thermodynamics in materials science. Tutorial. – M. : MEPhI, 2007. – 227 p.

5. Kuznetsov, M. A. Comparative method for the calculation of the specific heat of hydrocarbon gases at high state parameters / M. A. Kuznetsov, P. O. Ovsyannikov // *Herald TGTU*. – Tambov, 2012. – N 2. – P. 123 – 130.

6. Kuznetsov, M. A. The similarity of the thermodynamic properties of hydrocarbons in the supercritical region / M. A. Kuznetsov, P. O. Ovsyannikov // *Herald TGTU*. – Tambov, 2013. – N 2. – P. 134 – 139.

7. Pat. of Russian Federation for invention № 2461818. A method for measuring the thermal conductivity of porous bodies with the full pressure / Kuznetsov M. A., Grigoriev E. B. ; priority 18.04.2011 ; Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation 20.09.2012.

8. Pat. of Russian Federation for the invention № 2492455. The device for measuring thermal conductivity under pressure fluid-saturated porous bodies / Kuznetsov M. A., Grigoriev E. B. ; priority 17.02.2012 ; Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation 10.09.2013.

9. Pat. of Russian Federation for the invention № 2575473. A method for measuring the effect of pressure up to 100 MPa in the thermal conductivity of the fluid-saturated porous bodies / Kuznetsov M. A., Grigoriev E. B. ; priority 28.10 2014 ; Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation 01.12.2016.

Белоусова М. А.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов),

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ФАКТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Belousova M. A.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

ATMOSPHERE POLLUTION: THEORETICAL ASPECTS AND ACTUAL DATA FOR TAMBOV REGION

Аннотация. В статье рассмотрены основные способы контроля атмосферного загрязнения в Тамбовской области, приведены некоторые фактические показатели и перечислены основные рекомендации по улучшению состояния атмосферного воздуха.

Ключевые слова: экология, контроль качества, загрязнение атмосферы.

Abstract. In this article basic ways of air pollution control are considered, some actual data is given and main recommendations for atmosphere air improving are given.

Keywords: ecology, quality control, atmosphere pollution.

Благоприятная окружающая среда – неоспоримое право каждого жителя Российской Федерации в соответствии с действующей Конституцией. Основная задача данной статьи – рассмотреть теоретически методы контроля качества воздушной среды. Для выполнения поставленной задачи были использованы следующие методы:

а) теоретические (методы-познавательные действия: постановка проблемы, анализ систем знаний, диалектика и дедуктивный метод, методы-операции: конкретизация, обобщение, аналогия,);

б) эмпирические (методы-операции: изучение литературы, документов и результатов деятельности).

Базой для написания данного материала послужили научные труды русских ученых, а также основные законы в рассматриваемой сфере (в том числе Конституция РФ, ФЗ об охране окружающей среды и другие).

Основным законом, определяющим правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, является Федеральный закон об охране окружающей среды №7-ФЗ. Кроме этого, вышеупомянутый закон определяет основы управления в области охраны окружающей среды, права и обязанности граждан, экономическое регулирование, нормирование в области охраны окружающей среды, приводит указания на анализ оценки воздействия на окружающую среду, указывает на различные

требования при осуществлении какого-либо вида деятельности, содержит порядок установления зон экологического бедствия и зон чрезвычайных ситуаций, перечисляет меры охраны природных объектов и прочее [1].

Переход к устойчивому развитию, как и сохранение окружающей природы, являются приоритетными проблемами человечества. Организацию и осуществление экологического мониторинга обеспечивают в пределах своей компетенции в соответствии с законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации специально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, Федеральная служба РФ по гидрометеорологии и мониторингу природной среды, Комитет РФ по земельному кадастру, Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ, Комитет РФ по рыбному хозяйству и другие органы исполнительной власти.

Для своевременного регулирования разнообразных воздействий на окружающую среду необходимо наличие соответствующей системы управления. В соответствии с международными экологическими стандартами предполагается параллельное управление качеством продукции и управление экологической безопасностью продукции. Так, в стандарте ИСО 9001 рекомендуется система обеспечения качества продукции, а в стандарте ИСО 14001 – система управления окружающей средой.

Воздух – это, пожалуй, единственная жизненно необходимая субстанция, за которую мы еще не платим налог и которая, тем не менее, имеет свои стандарты качества. Существует несколько десятков нормативных документов, устанавливающих показатели качества нормативного воздуха и документов для организации контроля загрязнения окружающей среды. Так, ГН 2.1.6.1338–03 содержит предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, а в ГН 1.1.725–98 приводится перечень веществ, являющихся канцерогенными для организма человека.

Оценивание качества атмосферного воздуха базируется на сравнении фактически измеренной концентрации с предельно допустимой (ПДК).

Определены 4 класса опасности атмосферных загрязнителей: 1-й класс – чрезвычайно опасные (бенз(а)пирен, свинец и его соединения), 2-й класс – высокоопасные (NO₂, H₂S, HNO₃), 3-й класс – умеренно опасные (пыль неорганическая, сажа, SO₂), 4-й класс – малоопасные (бензин, CO) [2].

Правила организации наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы в городах и населенных пунктах изложены в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01–86, а также с руководством по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186–89.

На территории Тамбовской области основными источниками загрязнения стали автотранспорт и промышленные предприятия. Для определения уровня загрязнения атмосферы необходимы наблюдения, которые осуществляются на постах. В г. Тамбове установлены 3 стационарных поста Росгидрометета (на территории областной больницы в юго-восточной части города; в западной части города и на территории кардиологического санатория в южной части города); также для мониторинга используются данные исследований ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Тамбовской области»

и его филиалов. Что касается области в целом, то на 15 ее территориях расположено 58 действующих мониторинговых точек [3].

Качество атмосферного воздуха исследуется на содержание около 20 вредных веществ, в том числе аммиака, бенз(а)пирена, диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, пыли, фенола, а также тяжелых металлов – железа, марганца, меди, никеля, свинца, хрома и цинка. Для определения концентрации примесей производится отбор проб при помощи аспираторов, газоанализаторов, измерителей пыли и других приборов на высоте 1,5...3,5 м от уровня земли в течение получаса, если проводятся дискретные наблюдения, и целые сутки в случае непрерывного отбора [2, 4]. Нормой считается содержание ПДК менее 5, класс «риск» определен для значений от 5 до 8, «кризис» – от 8 до 15, и «бедствие» – свыше 15 [2].

По результатам наблюдений, выполненных службами Росгидромета и ФБУЗ, в 2015 г. превышение ПДК более, чем в 5 раз, не фиксировалось, однако в течение прошедшего года выявлено 14 определений с превышением 1 ПДК по показателю пыли; 2 определения, превышающее 2 ПДК по пыли; также зарегистрировано одно определение, превышающее 1 ПДК по оксиду углерода; 1 определение, с превышением предельного значения по оксиду меди; 6 значений с превышением 1 ПДК по 3,4-бенз(а)пирену. За период с 2013 по 2015 гг. основными загрязнителями, превышающими предельные допустимые концентрации в 2,1–5 раз, были 3,4-бенз(а)пирен (особенно в зимний период) и взвешенные вещества, отмечен среднегодовой рост концентрации свинца, гигиеническим нормам не соответствует содержание оксида углерода.

Нестандартные пробы с превышением ПДК более всего выявлены на автомагистралях г. Котовска и г. Тамбова, а также в зоне промышленных предприятий г. Мичуринска и г. Тамбова. Отметим, что доля ПДК в городских поселениях остается ниже среднего показателя по РФ, однако показатели зоны влияния промышленных предприятий области немного превышает средний показатель по России [3].

Мерами по улучшению состояния окружающей среды города Тамбова и области (как и всей страны в целом) могут быть следующие:

а) переоборудование автомобильного транспорта на экологически дружелюбное топливо – газ, электричество и др.; [5] в том числе – создание благоприятных материальных условий для осуществления подобного перехода;

б) на документальном уровне – разработка соответствующих концепций по обеспечению экологической безопасности;

в) качественный надзор за выполнением необходимых санитарно-гигиенических мероприятий на объектах, являющихся основными источниками загрязнения;

г) выведение населения за пределы границ санитарно-защитных зон и создание благоприятных условий для этого;

д) наложение штрафных санкций на организации и предприятия, не соблюдающие нормы санитарно-экологической безопасности, и направление полученных денежных средств на строительство и поддержание сооружений по очистке;

е) отзывчивость к проводимым акциям международного масштаба (Например, политике Гринпис по раздельному сбору мусора и т.д.) и др.

Идеал экологической обстановки – отсутствие вредных веществ как результата деятельности предприятий различных видов промышленности, отсутствие курильщиков и автомобильных средств, работающих с угрозой для окружающей среды. Минимизация первого и третьего пункта не является невозможной в рамках поддержки государства, однако второй пункт позволит немалому количеству людей воплотить принцип «Начни с себя!», сократить количество пациентов с заболеваниями рака и дыхательных путей и помочь вздохнуть свободнее миллионам своих сограждан.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 29.12.2015) «Об охране окружающей среды» : [Электронный ресурс]. Консультант Плюс. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения – 22.05.2016).
2. Якунина, И. В. Методы и приборы контроля окружающей среды : [Электронный ресурс] / И. В. Якунина, Н. С. Попов. Электронная библиотека Тамбовского государственного технического университета. – URL : <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2009/Popov-Yakunina-1.pdf>
3. Здоровье человека и среда обитания : [Электронный ресурс]. Роспотребнадзор по Тамбовской области. – URL : <http://68.rospotrebnadzor.ru/s/68/files/documents/regional/doklady/145980.pdf> (дата обращения – 22.05.2016).
4. Приборы и оборудование : [Электронный ресурс]. НПК «Атмосфера». – URL : <http://www.atmosfera-npk.ru/page4.htm> (дата обращения – 22.05.2016).
5. Шитикова, М. А. Вне времени, для логики – проблемы экологии : [Электронный ресурс] : Сборник докладов МНПК им. В. И. Вернадского. – URL : <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fvernadsky-conf.tstu.ru%2Fru%2Ftom%2Ftom2.pdf&name=tom2.pdf&c=574fe2a44e72&page=138> (дата обращения – 22.05.2016).

References

1. Federal act № 7-FZ : [Digital resource]. Consultant Plus. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (22.05.2016)
2. Yakunina, I. V. Environment control system methods and equipment : [Digital resource] / I. V. Yakunina, N. S. Popov. Tambov State Technical University electronic library. – URL : <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2009/Popov-Yakunina-1.pdf>
3. Health of a human being and habitat : [Digital resource]. Rosпотребнадзор in Tambov region. – URL : <http://68.rospotrebnadzor.ru/s/68/files/documents/regional/doklady/145980.pdf> (22.05.2016)
4. Tools and equipment : [Digital resource]. NPK “Atmosphere”. – URL : <http://www.atmosfera-npk.ru/page4.htm> (22.05.2016)
5. Shitikova M. A. Beyond time, for logic – ecology problems : [Digital resource] : The conference named after V. I. Vernadskiy: a book of reports. – URL : <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fvernadsky-conf.tstu.ru%2Fru%2Ftom%2Ftom2.pdf&name=tom2.pdf&c=574fe2a44e72&page=138> (22.05.2016)

Сизикин А. Ю.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Sizikin A. Yu.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

INCREASE QUALITY PROCESSES STANDARDIZATION

Аннотация. Проводится анализ повышения процессов качества стандартизации как информационного процесса оптимизации собственной функциональной точностной характеристики стандартизации, минимизирующий интегральную погрешность стандартизации.

Ключевые слова: качество, предприятие, стандартизация, система менеджмента качества, самооценка.

Abstract: The analysis of improvement of quality processes of standardization as an information process to optimize their own functional accuracy characteristics of standardization that minimizes the integral error of standardization.

Keywords: quality, enterprise standardization, quality management system, self-esteem.

Проводимые реформы технического регулирования, главной целью которой является обеспечение эффективности регулирующего воздействия государства и устранение необоснованных препятствий для экономических механизмов, глобализация экономики, обострение конкуренции, требующие от экономических субъектов непрерывного повышения качества продукции и услуг, обуславливают значительное повышение требований к системе информационного обеспечения технического регулирования. Ее целью должно стать непрерывное, полное, комплексное, достоверное и оперативное снабжение клиентов информацией о национальных, иностранных, международных и других стандартах [1].

27 декабря 2002 г. был принят Федеральный закон «О техническом регулировании» (далее – Закон), вступивший в силу с 1 июля 2003 года. Закон юридически закрепил основы системы применения технических требований: разработки и принятия обязательных требований, процедур подтверждения соответствия, механизмов государственного надзора, систем аккредитации лиц, участвующих в процедурах подтверждения соответствия [2].

Исследование практик стандартизации в зарубежных странах необходимо сочетать с анализом их базовых принципов и целей в области стандартизации, которые обуславливают направления ее совершенствования.

Так, одной из пяти стратегических целей, предусмотренных французской стратегией стандартизации AFNOR¹, является: «Разъяснить достоинства добровольной стандартизации всем имеющимся и будущим игрокам и клиентам». Деятельность в этом направлении может оказаться успешной только в том случае, если будут приведены ясные и конкретные примеры того, как увеличивается доверие, которое привносят стандарты во многих областях».

В американской Национальной стратегии стандартизации ANSI² особое внимание также обращено на повышение степени интерактивности взаимодействия между системой стандартизации и ее клиентами.

В официальном издании национальной организации по стандартизации Новой Зеландии журнале «Standards»³ опубликовано интервью со специалистом по законодательству в области интеллектуальной собственности, где он также подробно останавливается на элементарных аспектах авторского права. Он разъясняет читателям, что когда они покупают стандарт, то они покупают копию этого стандарта, а не право его бесконтрольного копирования. Это право принадлежит только владельцу интеллектуальной собственности – национальному органу SNZ.

В немецкой стратегии стандартизации DIN⁴ вопросу информационного обеспечения стандартизации также уделено большое внимание. Так, по цели 1 «Стандартизация сохраняет позицию Германии, как ведущей индустриальной страны» первым пунктом Плана действий стоит: «Увеличить осведомленность людей, принимающих решения в бизнесе, политике и обществе. Выдающаяся роль стандартизации в обеспечении конкурентных преимуществ на глобальных рынках и в сокращении расходов должна быть разъяснена людям, принимающим решения в бизнесе, политике и обществе. Стандартизация должна утвердиться в Германии как стратегический инструмент и в политике, и в промышленности...». По цели 2 «Стандартизация как стратегический инструмент поддерживает успешное общество и экономику» в желаемом результате указано: «Лица, принимающие решения во всех секторах экономики более осведомлены об эффективности стандартизации, и ее влияние на бизнес и рынки по достоинству оценено менеджментом...».

В английском докладе «Стратегическая структура стандартизации: правительство и стандартизация (NSSF)⁵» так же выражается озабоченность состоянием информированности о преимуществах стандартизации: «Существует проблема ограниченной общей осведомленности о стандартизации во всех ее формах и об экономических преимуществах стандартизации. Она стала чисто технической темой, а это означает, что многие предлагаемые стандартизацией стратегические возможности упускаются из вида, так же как и необходимость ... поддерживать эту систему в хорошем состоянии».

Исходя из этого, можно говорить о двух видах востребованности повышения качества процессов стандартизации: наблюдаемой востребованности, т.е. такой востребо-

¹ Стратегия французской системы стандартизации // www.rgtr.ru

² Национальная стратегия стандартизации США // www.rgtr.ru

³ www.standards.co.nz

⁴ Немецкая стратегия стандартизации // www.rgtr.ru

⁵ Стратегическая структура стандартизации: правительство и стандартизация (NSSF) // www.rgtr.ru

ванности, заключение о параметрах которой можно сделать с достаточной обоснованностью на базе имеющихся статистических данных; латентной (скрытой) востребованности, точную оценку параметров которой дать невозможно ввиду отсутствия необходимых статистических данных, возможна только обобщенная приближенная оценка экспертным путем или с использованием косвенных методов.

Под качеством стандартизации будем понимать информационный процесс оптимизации собственной функциональной точностной характеристики стандартизации, минимизирующий интегральную погрешность стандартизации.

Предприятия и организации функционируют как институты качества при выполнении ряда требований стандартизации:

Требование 1. Предприятие реализует миссию, видение и кредо конкурентного развития, комплементарно связанных с миссией, видением и кредо качества конъюнктуры рынка и ожиданиями потребителей.

Требование 2. Предприятие формируется как неравновесная открытая синергетическая система на базе принципов хаордического управления.

Требование 3. Регулируемая конкурентоспособность предприятия выступает критерием качества развития предприятия.

Требование 4. Сетевая самоорганизация предприятия формирует интегрированную систему менеджмента качества (СМК). Результативность и эффективность такой СМК оценивается по показателям системных индикаторов подсистем интегрированной СМК, реализованной в соответствии с институциональными требованиями концепции «6М». Выбор таких индикаторов производится по точности, надежности и быстродействию.

Требование 5. Процессы качества продукции предприятия носят ярко выраженный турбо-институциональный характер, что требует привлечения процессов и процедур метрологии, стандартизации и сертификации для устранения «институциональных ловушек», вызванных асимметрией формализованной и не формализованной информации (знаний) по качеству продукции.

Требование 6. Устойчивость развития предприятия на длительном экономическом горизонте и результативность процессов качества продукции возрастают при комплементарном взаимодействии жизненных циклов предприятия, продукции и СМК.

Реализация данных требований позволяет системе менеджмента качества гибко реагировать как на ожидаемые изменения внешней среды и внутренней среды ведения бизнеса, так и на внезапные крупномасштабные шоки. Гибкая СМК дает возможность выявлять и оперативно устранять «узкие места» в процессах создания ценности, перераспределяя все виды ресурсов предприятия и оценивая эффективность их использования.

Повышение качества процессов стандартизации обеспечивает не только очевидные на данный момент выгоды, но и существенно облегчает управление рисками и затратами. Соображения и следующие за ними действия, коррелирующие с прибылями и управлением затратами и рисками, крайне важны для компании, ее потребителей и

прочих заинтересованных участников данного сегмента рынка. С помощью данных действий, влияющих на общую эффективность предприятия, можно корректировать:

- уровень клиентского доверия;
- количество повторных обращений за квалифицированными консультациями;
- увеличение доли в данном сегменте рынка;
- оперативную реакцию при изменении ситуации в данном сегменте рынка;
- количество циклов использования и эффективной переработки ресурсов;
- планирование последовательности процессов, позволяющей достигнуть наилучших результатов;
- повышение конкурентоспособности через увеличение возможностей компании;
- мотивацию и понимание сотрудников касательно задач и целей компании, стремление сотрудников к планомерному совершенствованию;
- уверенность партнеров и работников в эффективности и результативности компании, которые подтверждаются репутацией, финансовыми документами, социальными благами;
- уровень создаваемой выгоды как для компании, так и для ее партнеров с помощью оптимизации ресурсов и затрат, за счет скорости и гибкости общей реакции на трансформации в целевом сегменте рынка.

Список использованных источников

1. Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ. – М. : СТАНДАРТИНФОРМ, 2015.
2. Злобина, Н. В. Современные инструменты развития системы менеджмента качества организации : монография / Н. В. Злобина, М. М. Висков, В. А. Толстошеина. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011.
3. ГОСТ Р1.1–2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности. – М. : СТАНДАРТИНФОРМ, 2013.
4. Соседова, Я. Г. Стандартизация и управление качеством продукции: самооценка / Я. Г. Соседова, Б. И. Герасимов, А. Ю. Сизикин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 268 с.

References

1. Federal law «On standardization in Russian Federation» dated 29 June 2015 № 162-FZ. – М. : STANDARTINFORM, 2015.
2. Zlobina, N. V. Modern tools for the development of the quality management system of the organization : Monograph / N. V. Zlobina, M. M. Viskov, V. A. Tolstosheina. – Tambov : Publishing house TGTU, 2011.
3. GOST R1.1–2013. National standard of the Russian Federation. Standardization in the Russian Federation. Technical committees for standardization. The rules of creation and activity. – М. : STANDARTINFORM, 2013.
4. Sosedova, Y. G. Standardization and product quality control: self-assessment / Ya. G. Sosedova, B. I. Gerasimov, A. Yu. Sisikin. – Tambov : Publishing house FGBOU VPO TGTU, 2012. – 268 p.

УДК 53.082.531

ББК 34.9

Guilcatoma M. P. M., Savenkov A. P., Safonova M. E.

Universidad Tecnica Estatal de Tambov, Tambov
(Russia, Tambov)

DETECTOR DE DISTANCIA SIN CONTACTO HASTA LA SUPERFICIE LIQUIDA*

Guilcatoma M. P. M., Savenkov A. P., Safonova M. E.

Tambov State Technical University, Tambov
(Russia, Tambov)

A NON-CONTACT SENSOR OF DISTANCE TO A LIQUID SURFACE

Гуилкатама М. П. М., Савенков А. П., Сафонова М. Э.

Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

БЕСКОНТАКТНЫЙ ДЕТЕКТОР РАССТОЯНИЯ ДО ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ

Resumen. Es presetada la descripción de la operacion principal del sensor óptico de distancia sin contacto hasta la superficie del líquido. El sensor se basa en la determinación concreta de la emisión del laser, que se refleja desde la superficie del líquido al punto dado del fotodetector. Para aumentar la precisión de la señal a distancia en el fotodetector, fue aplicado el principio diferencial. El sensor propuesto puede ser utilizado durante la realización de los motodos aerogidrodinamicos sin contacto para la medición de las propiedades fisicas de los líquidos o para la medición de nivel de líquido en un aparato.

Palabras clave: diferencial, la distancia, la indicación de láser, líquidos, medición sin contacto, sensor.

Abstract. The description of the operational principle of a non-contact optical sensor of distance to a liquid surface is presented. The sensor is based on the determination of illumination of a predetermined point of a photoreceiver by laser emission reflected from the liquid surface. To increase the accuracy of distance indication we use the differential principle in the sensor. The proposed sensor may be used during realization of non-contact aerohydrodynamic methods for measuring the physical properties of liquids or for measuring liquid level in a vessel.

Keywords: differential, distance, indication, laser, liquid, measurement, non-contact, sensor.

Аннотация. Представлено описание принципа работы бесконтактного оптического детектора расстояния до поверхности жидкости. Детектор основан на определении факта поступления лазерного излучения, отраженного от поверхности жидкости в заданную

* El trabajo fue realizado dentro de los rangos de programas Presidenciales de la Federación Rusa para el apoyo estatal a las principales intituciones de investigación (grant № HSH-2411.2014.3).

точку фотоприемника. Для повышения точности сигнализации расстояния в фотоприемнике применен дифференциальный принцип. Предложенный детектор может быть применен при реализации бесконтактных аэрогидродинамических методов измерения физических свойств жидкостей или для измерения уровня жидкости в аппарате.

Ключевые слова: бесконтактный, детектор, дифференциальный, жидкость, измерение, лазер, расстояние, сигнализация.

Las desviaciones de los parámetros de los procesos tecnológicos desde los valores reglamentados puede ocasionar el surgimiento de rechazo, que, a su vez, conduce a una elevación de materiales y de energía de costos. Proporcionar la eficiencia energética de la producción, en particular, ayudan a los dispositivos de la supervisión de las propiedades físicas de los líquidos. Lograr una alta precisión de medición de la tensión superficial, la densidad y la viscosidad aerodinámicas sin contacto de los métodos, sólo es posible cuando se precisa la instalación de medición del transductor a una determinada distancia respecto a la superficie del fluido controlado [1, 2]. Conocidos triangularmente los sensores no pueden ser utilizados para este propósito. Para la proximidad de la definición de esta distancia se ha desarrollado un detector basado en la reflexión de la luz desde la superficie del líquido [4].

Antes de las propiedades de los líquidos el transmisor y el detector se colocan sobre la superficie del líquido a una distancia relativamente grande de origen. Con una orden desde la unidad de control la unidad de posicionamiento baja el detector y el transistor hasta la detección de la superficie del líquido a la distancia especificada.

El detector consiste en un láser de diodo 2 y fotoconductor 4 y 5, y el circuito electrónico de 6 (fig. 1). La entrada del láser diodo 2 está conectado a la salida del generador 1 rectangular defrecuencia de impulso de 1 kHz. La salida del transistor fotoconductor (elementos 4 y 5) estáconectado a la entrada del amplificador de alta frecuencia 7.

Cuando hay movimiento del sensor se obtiene cuatro posibles variantes del rayo láser reflejado desde la superficie del líquido 3:

- el reflejo de la luz, no cae en la superficie de ninguno de los fotoconductores;
- el rayo de luz cae a la superficie del fotoconductor 4;
- el rayo de luz cae a la superficie fotconductor 5;
- ambos fotoconductores reciben la misma luz fluye.

En la salida del fotoconductor-transmisor relativamente la señal del generador 1 se generarían contrafaces o faces iguales de señales dependiendo en cual de los fotoconductores ingresa el reflejo de rayo de láser de diodo. Si el rayo cae sobre la superficie del fotoconductor 4, se genera una misma face de señal, el fotoconductor 5 – de contrafaces. Aumentando la seña del bloque 7 del fotoconductor-transmisor, junto con la señal del generador 1 que llega al bloque 8, el cualrealiza funciones de conmutación y rectificación de la tension de alta frecuencia.

Cuando se detecta el haz de luz del láser en ambos fotoconductores son de iguales los rangos de potencia y cuando no se detecta en ninguno de los fotoconductores, el factor de potencia en las salidas del bloque 8 estaran presentes señales lógicas $U_1 = U_2 = 0$.

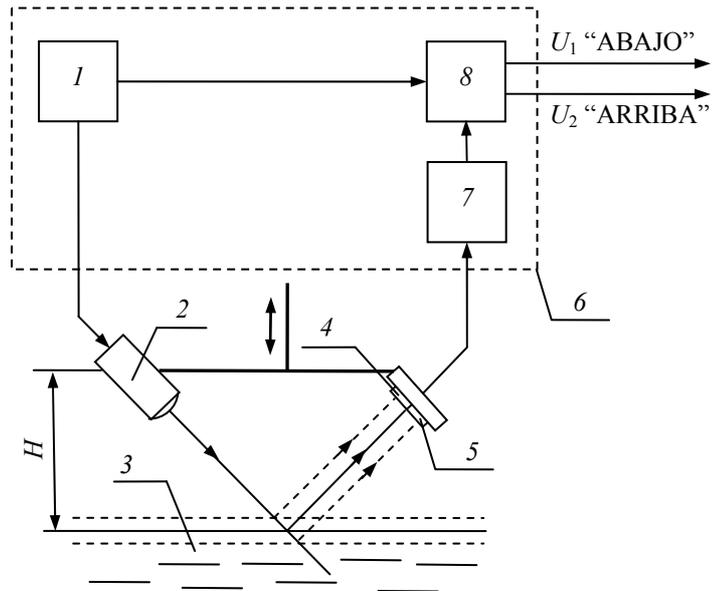


Figure 1. Esquema del detector distancional sin contacto hasta la superficie del líquido

Si el reflejo del haz de luz del láser actúa en el fotoconductor 5, entonces el factor de potencia en la salida U_1 del bloque 8 se establece una señal de unidad lógica, que señalará la necesidad de continuar con el movimiento del detector hacia abajo. El valor $U_2 = 1$, es generado por la acción del haz de luz en el fotoconductor 4, detector que necesariamente requiere ser movido hacia arriba hasta conseguir resultados $U_1 = U_2 = 0$ en los factores de potencia de salida del bloque 8 en caso de igualdad de flujos luminosos, que actuarán en el fotoconductor. El mantenimiento de la posición del reflejo del haz de luz del láser entre las superficies de los dos fotoconductores 4 y 5 a la distancia determinada con respecto a la superficie líquida 3 garantiza el proceso al convertidor de medida y al detector.

Para mejoramiento posicional de la precisión se propone el algoritmo, con el cual el aparato de posición continuamente conseguira obtener las señales de $U_1 = 1$ y $U_2 = 1$, y medir el valor de y en los puntos extremos (fig. 2). Ante todo, el detector se disminuirá hasta que el factor de potencia en la salida de U_2 no determine una señal de unidad lógica. Después, el detector se movera hasta que el factor de potencia en la salida de U_1 determine una señal de unidad lógica. Estos pasos se repiten varias veces, donde el desplazamiento de y se determina en los puntos extremos ante los cambios de las señales de U_1 y U_2 . Donde los valores de y son determinados y el sensor se movera en la posición correspondiente a la obtenida en el promedio.

Debido a que el dispositivo de posicionamiento mide el movimiento de y del detector, entonces existen posibilidades de la medición sin contacto del nivel l del líquido en el aparato 2 y la distancia Y hasta la superficie del líquido 3 (fig. 2). El nivel l del líquido 3 y la distancia Y hasta su superficie puede ser calculada con la fórmula $l = L - y - H$; $Y = y + H$, donde la altura L del aparato 2 y la distancia dada H — son magnitudes conocidas, el desplazamiento de y se determinara después de que el detector 1 se haya establecido en la distancia determinada H .

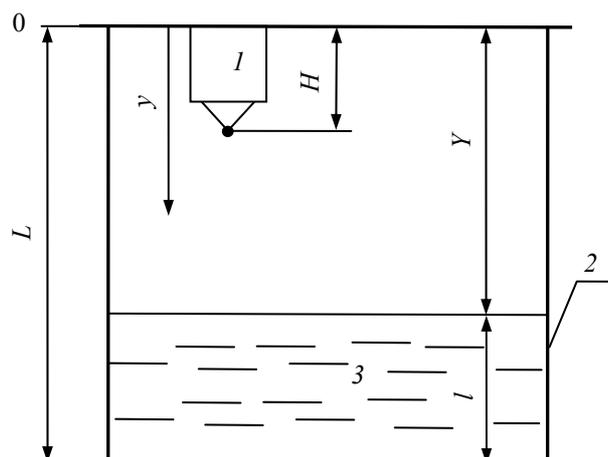


Figure 2. Esquema de medición del nivel l del líquido y de la distancia Y hasta su superficie

Durante la medición de la viscosidad y la tensión superficial con el método aerodinámico estará presente la necesidad de medir la altura de profundidad en la superficie líquida, que forma el flujo de gas [1 – 3]. El detector considerado puede ser utilizado para determinar la altura de la profundidad en la distancia determinada.

Por lo tanto, el detector presentado aquí puede ser utilizado en varios casos:

- para la comparación de la distancia hasta la superficie líquida con valores especificados;
 - para la instalación de un dispositivo a una distancia determinada con respecto a la superficie del líquido;
 - para la medición de nivel de líquido en el aparato;
 - para la determinación de alcance de la altura de profundidad con los valores de datos;
- Todos estos casos se pueden realizar de manera no invasiva.

Lista de literatura / References

1. Mordasov, D. M. Aerohydrodynamic Effects in Noncontact Jet NDT Methods of Liquid Viscosity. Fizmatlit / D. M. Mordasov, M. M. Mordasov, and A. P. Savenkov. – Moscow, 2012. – 354 p.
2. Mordasov, M. M. Contactless Methods for Measuring Liquid Viscosity (Review) / M. M. Mordasov, A. P. Savenkov // Inorganic Materials. – 2014. – V. 50, N 15. – P. 1435 – 1443.
3. Pat. 2192987 GB, G01N 11/00, G01N 9/00, G01N 13/02. A device for measuring physical properties of liquids / S. Nowinski. Appl. N 8717205. Filed 21.07.1987. Pub. 27.01.1988. – 5 p.
4. Safonova, M. E. Non-contact Measurement of Distance to a Liquid Surface / M. E. Safonova, K. E. Chechetov // Modern Solid-state Technology: Theory, Practice and Innovation Management : Proceedings of the VII International Scientific and Innovative Conference of Young Researchers. Pub. PE Chesnokov A. V., Tambov, 2015. – P. 371–372. (Rus)

Список использованных источников

1. Мордасов Д. М. Аэрогидродинамические эффекты в бесконтактных струйных методах неразрушающего контроля вязкости жидких веществ / Д. М. Мордасов, М. М. Мордасов, А. П. Савенков. М. : Физматлит, 2012. 354 с.
2. Mordasov, M. M. Contactless Methods for Measuring Liquid Viscosity (Review) / M. M. Mordasov, A. P. Savenkov // *Inorganic Materials*. – 2014. – V. 50, N 15. – P. 1435 – 1443.
3. Pat. 2192987 GB, G01N 11/00, G01N 9/00, G01N 13/02. A device for measuring physical properties of liquids / S. Nowinski. Appl. N 8717205. Filed 21.07.1987. Pub. 27.01.1988. – 5 p.
4. Сафонова, М. Э. Бесконтактное измерение расстояния до поверхности жидкости / М. Э. Сафонова, К. Е. Чечетов // *Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы VII Международной научно-инновационной молодежной конференции*. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2015. – С. 371–372.

УДК 621.391
ББК 3.32.99

Балашов А. А.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА НА ФОНЕ ШУМОВ С ПОМОЩЬЮ ОДНОМЕРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Balashov A. A.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

THE METHODS OF MONITORING THE STRUCTURAL TRANSITION TO BACKGROUND NOISE USING ONE-DIMENSIONAL FILTERING

Аннотация. Применим метод одномерной фильтрации с целью выделения сигнала в виде «плато» на термограмме, которое образуется структурным переходом в полимере с эндотермическим эффектом.

Ключевые слова: сигналы, шумы.

Abstract. The dimensional method apply filtering to isolate the signal in the form of a “plateau” in the thermogram, which is formed in the polymer structural transition from an endothermic effect.

Keywords: signals, noises.

Информация о структурных переходах в полимере необходима для назначения технологических режимов переработки в изделия. В [1] предложен метод фиксации структурных переходов в полимере методом неразрушающего контроля. Однако при работе информационно-измерительной системы, реализующей данный метод, возникает шум с достаточно большой амплитудой из-за теплового движения заряженных частиц в элементах электрических цепей. Для последующего определения возможных структурных переходов в полимере необходимо уменьшить соотношение сигнал/шум.

На рисунке 1 представлена экспериментальная термограмма, зафиксированная центральной термопарой на изделии из политетрафторэтилена (ПТФЭ) при следующих условиях [1]. Видно, что при значениях температуры 20 °С и 30 °С в ПТФЭ наблюдаются эндотермические эффекты, сопровождающие внутрикristаллические переходы в твердой фазе.

Известны три кристаллические модификации ПТФЭ [2]. При температуре ниже 19,6 °С его элементарная ячейка имеет триклиническую структуру с размерами: $a = b = 5,54 \text{ \AA}$; $c = 16,8 \text{ \AA}$; $\gamma = 119,5^\circ$. В интервале от 19,6 до 30 °С существует гексагональная элементарная ячейка с параметрами: $a = 5,61 \text{ \AA}$; $c = 16,8 \text{ \AA}$; $\gamma = 120^\circ$.

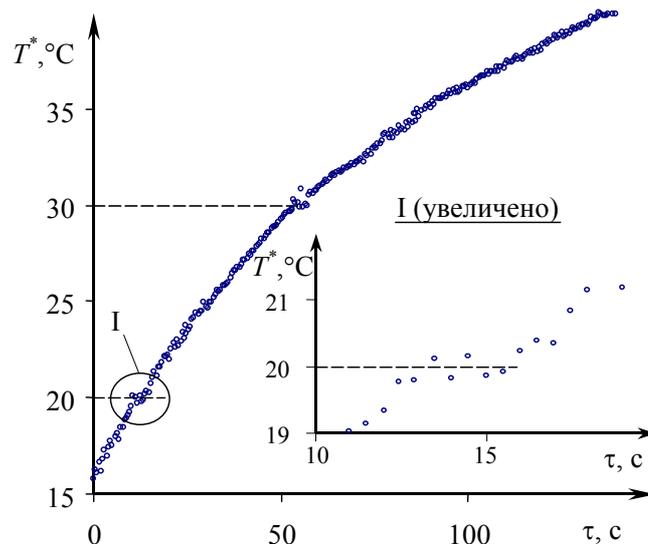


Рис. 1. Термограмма, зафиксированная на изделии из ПТФЭ

Упорядоченность структуры при этом уменьшается, решетка расширяется, удельный объем увеличивается, примерно, на один процент. При температуре выше 30 °С стабильной становится псевдогексагональная решетка с $a = 5,64 \text{ \AA}$, изменение объема образца при этом составляет 0,08%. Удельные теплоты переходов составляют соответственно: $4,0 \pm 0,5 \text{ кДж/кг}$ и $1,2 \pm 0,3 \text{ кДж/кг}$ [3].

На термограмме (рис. 1) необходимо определить рабочий участок [4], который характеризует одномерное температурное поле в изделии [1], где процесс соответствует стадии регуляризации и при этом обнаруживается структурный переход в ПТФЭ при значениях температуры 20 °С и 30 °С (рис. 2).

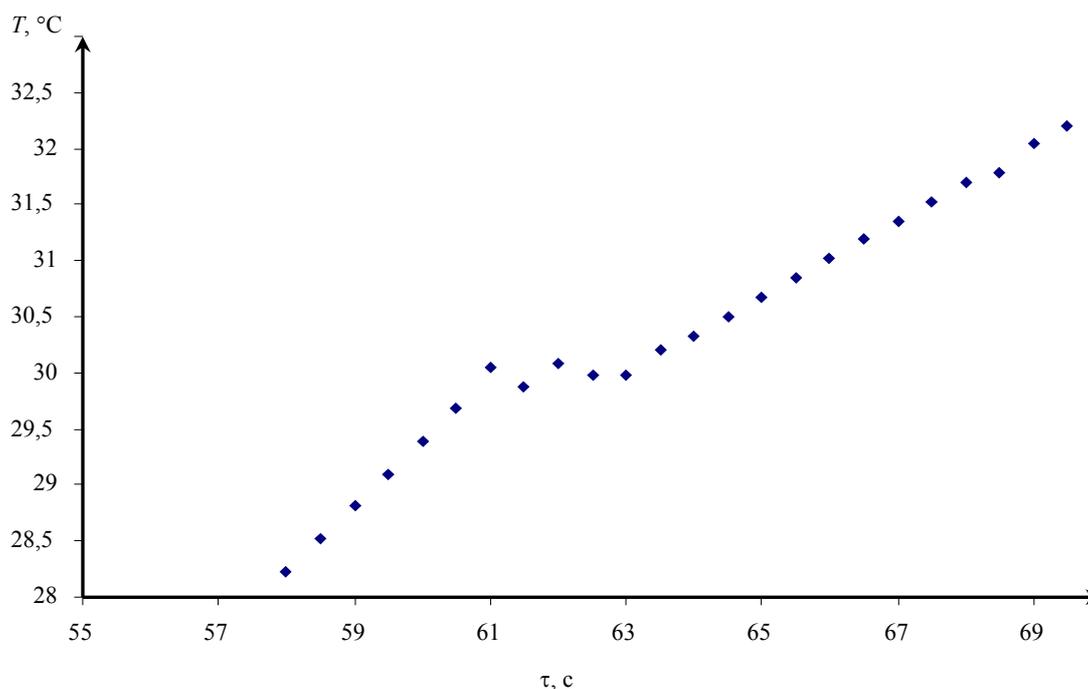


Рис. 2. Рабочий участок термограммы с выделенной центральной частью

Применим метод одномерной фильтрации [5 – 7] с целью выделения сигнала в виде «плато» на термограмме, которое образуется структурным переходом в полимере с эндотермическим эффектом.

Известно, что при обработке в пространственной области фильтрация осуществляется путем формирования взвешенной суммы отсчетов входного сигнала q_i , расположенных в некоторой области вокруг выходного отсчета $q_p^{\text{ВЫХ}}$ [5 – 7]. Последовательное прохождение отсчетов сигнала через фильтр, характерное при фильтрации временных частот, при этом отсутствует.

Процесс фильтрации описывается уравнением типа «автокорреляция» [5 – 7]

$$q_{p,s}^{\text{ВЫХ}} = \sum_{l=-a}^b \sum_{m=-c}^d q_{p+l,s+m} \alpha_{l,m}, \quad (1)$$

где $\alpha_{l,m}$ – отсчеты импульсной характеристики фильтра апертурой $(a+b+1)(c+d+1)$; $a > 0$; $b \geq 0$; $c > 0$; $d \geq 0$.

Выражение (1) описывает однородную по пространственным координатам фильтрацию, поэтому (p, s) – это текущие координаты пикселя изображения.

Симметричная вычислительная среда обладает нулевой фазочастотной пространственной характеристикой, если для всех l и m выполняется условие $\alpha_{l,m} = \alpha_{-l,-m}$ (в нашем случае $m = 0$) [5 – 7].

Фильтрация сигналов изображений обычно решает задачу подчеркивания интересующих объектов относительно фона, либо ослабления помех. При регистрации термограммы в ходе проведения эксперимента возникают наводки, и наблюдается некоторая нестабильность мощности на нагревателе. Поэтому задачу определения структурных переходов в полимере на термограмме можно решать путем выделения относительной энергии сигнала от помех.

Известно, что показателем эффективности фильтрации сигналов может служить относительное изменение их энергии. В [5 – 7] предложен функционал эффективности, связывающий характеристики входного и выходного сигналов с параметрами фильтра. При этом можно разложить энергию входного сигнала в двумерный ряд Фурье

$$e = 2 \sum_{l=-a-i}^b \sum_{i=-(a+b)}^0 \alpha_{l+i} \alpha_l s_i + 2 \sum_{l=-a-i}^b \sum_{i=-(a+b)}^{-1} \alpha_{l+i} \alpha_l s_i + 2 \sum_{l=-a}^{b+i} \sum_{i=-(a+b)}^{-1} \alpha_{l-i} \alpha_l s_i + \sum_{l=-a}^b \alpha_l^2; \quad (2)$$

где $s_i = \frac{\int_{-\pi}^{\pi} \cos(i\varphi_x) S_{\text{ВХ}}^{\ominus}(\varphi_x) d\varphi_x}{\int_{-\pi}^{\pi} S_{\text{ВХ}}^{\ominus}(\varphi_x) d\varphi_x}$; $s_0 = 1$; $S_{\text{ВХ}}^{\ominus}(\varphi_x)$ – энергетический спектр входного

сигнала изображения; $\varphi_x \in [-\pi, \pi]$ – нормированная пространственная частота.

В общем случае энергетический спектр обладает центральной симметрией [5 – 7], т.е. $s_i = s_{-i}$.

Функцию (2) можно рассматривать как функционал, заданный на множестве импульсных характеристик дискретного фильтра [5 – 7]. Тогда процедуру синтеза фильтра можно определить как выбор отсчетов его импульсной характеристики, при котором достигается экстремум.

Энергия входного изображения равна сумме квадратов яркостей, для реального изображения она равна 1641 усл. ед.

Для нахождения коэффициентов одномерного фильтра составим матрицу \mathbf{S} [5 – 7]:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} s_0 & s_1 & s_2 & s_3 & \vdots & s_{18} \\ s_{-1} & s_0 & s_1 & s_2 & \vdots & s_{17} \\ s_{-2} & s_{-1} & s_0 & s_1 & \vdots & s_{16} \\ s_{-3} & s_{-2} & s_{-1} & s_0 & \vdots & s_{15} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{-18} & s_{-17} & s_{-16} & s_{-15} & \vdots & s_0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Составим матричное уравнение для нахождения маски (импульсной характеристики) фильтра:

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{B}, \quad (4)$$

где $\mathbf{X}^T = (\alpha_9, \alpha_8, \dots, \alpha_0, \dots, \alpha_{-8}, \alpha_{-9})$ – отсчеты одномерного фильтра [5–7]; \mathbf{B}^T – коэффициенты, полученные для эталонного изображения (плато);

Применим полученный одномерный фильтр к изображению на рис. 2. В таблице 1 и 2 приведены значения яркостей пикселей до (q_i) и после ($q_i^{\text{ВЫХ}}$) обработки.

Таблица 1

i	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
q_i	28,23	28,375	28,52	28,665	28,81	28,955	29,1	29,245	29,39	29,535
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
q_i	29,68	29,86	30,04	29,96	29,88	29,985	30,09	30,035	29,98	

Таблица 2

i	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
$q_i^{\text{ВЫХ}}$	25,79	28,218	28,44	28,804	29,215	29,484	29,71	30,13	30,588	20,80
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$q_i^{\text{ВЫХ}}$	31,57	31,517	31,42	31,21	31,02	30,91	30,74	30,54	28,00	

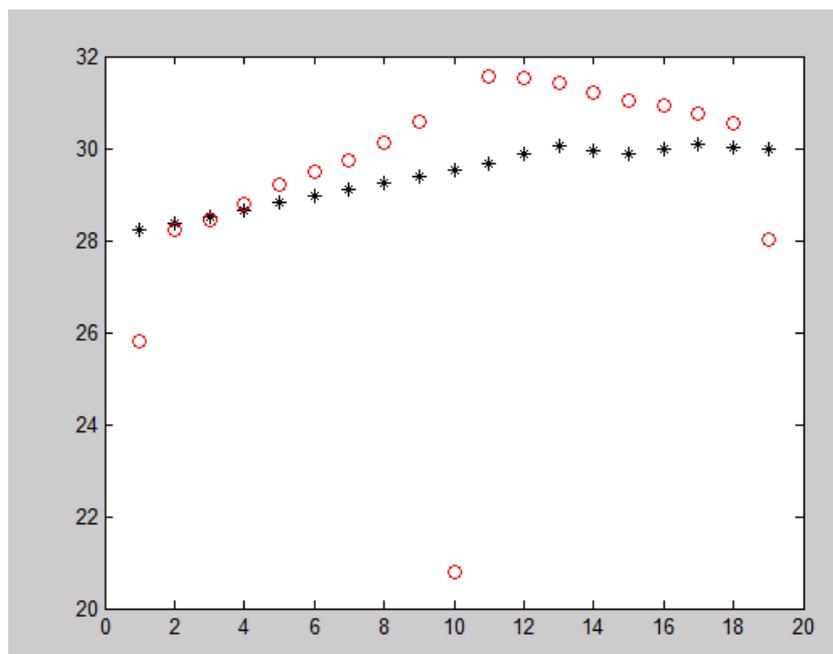


Рис. 3. Рабочий участок термограммы до (черные точки) и после (белые точки) фильтрации

На рисунке 3 показан результат обработки термограммы полученным фильтром одномерной апертуры.

Таким образом, эффективность обработки термограммы при помощи фильтра с одномерной апертурой составила 1,1 усл. ед. Однако, несмотря на одномерность сигнала, возможно, использовать двумерную фильтрацию, т.е. применить фильтр апертурой $3 \times (2m + 1)$, для увеличения ранга матрицы S , и тем самым повысить эффективности обработки изображения [5 – 7].

Список использованных источников

1. Жуков, Н. П. Метод неразрушающего контроля температурных характеристик структурных переходов в полимерах / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. А. Балашов // Вопросы современной науки и практики Университет имени В. И. Вернадского. – 2010. – № 1 – 3. – С. 253 – 259.
2. Горяинова, А. В. Фторопласты в машиностроении / А. В. Горяинова, Г. К. Божков, М. С. Тихонова. – М. : Машиностроение, 1971. – 232 с.
3. Зеленев, Ю. В. Кристаллизация политетрафторэтилена под действием γ -излучения / Ю. В. Зеленев, А. А. Коптелов, Д. Н. Садовничий, О. Ф. Шленский, Д. Д. Валгин // Пластические массы. – 2002. – № 1. – С. 19 – 22.
4. Майникова, Н. Ф. Определение условий адекватности модели распределения тепла в плоском полупространстве реальному процессу при теплофизическом контроле / Н. Ф. Майникова, Н. П. Жуков, А. А. Балашов, С. С. Никулин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12, № 3 – 1. – С. 610 – 616.

5. Обработка многомерных сигналов. В 2-х книгах. Кн. 1. Линейная многомерная дискретная обработка сигналов. Методы анализа и синтеза : монография / под ред. А. В. Богословского. – М. : Радиотехника. – 2013. – 168 с.

6. Богословский, А. В. Корреляционный анализ изображений изотропными фильтрами / А. В. Богословский, И. В. Жигулина, И. А. Басенков, В. В. Скоморохов // Радиотехника. – 2012. – № 4. – С. 43 – 46.

7. Bogoslovsky, A. V. A Way of Energy Analysis for Image and Video Sequence Processing / A. V. Bogoslovsky, I. V. Zhigulina. – Intelligent Systems Reference Library. – V. 73. Computer Vision in Control Systems-1. Mathematical Theory. – Springer. – 2015. – P. 183 – 210.

References

1. Zhukov, N. P. A method of nondestructive testing of the temperature characteristics of structural transitions in polymers / N. P. Zhukov, N. F. Maynikova, I. V. Rogov, A. A. Balashov // Problems of modern science and practice Vernadsky University. – 2010. – N 1 – 3. – P. 253 – 259.

2. Goryainova, A. V. Fluorines in mechanical engineering / A. V. Goryainov, G. K. Bozhkov, M. S. Tikhonov. – М. : Engineering, 1971. – 232 p.

3. Zelenev, U. V. PTFE crystallization under the influence of γ -radiation / U. V. Zelenev, A. A. Koptelov, D. N. Sadovnichy, O. F. Shlenskii, D. D. Valgin // Plastics. – 2002. – N 1. – P. 19 – 22.

4. Maynikova, N. F. Determination of the adequacy of the conditions of heat distribution patterns in a flat half-real process with thermal control / N. F. Maynikova, N. P. Zhukov, A. A. Balashov, S. S. Nikulin // Vestnik Tambov State Technical University. – 2006. – V. 12, N 3 – 1. – P. 610 – 616.

5. Processing of multidimensional signals. In 2 books. Bk. 1. Linear discrete multidimensional signal processing. Methods of analysis and synthesis : Monograph / Ed. A. V. Bogoslovsky. – М. : Radio engineering. – 2013. – 168 p.

6. Bogoslovsky, A. V. Correlation analysis isotropic filters images / A. V. Bogoslovsky, I. V. Zhigulina, I. A. Basenko, V. V. Skomorokhov // Radio engineering. – 2012. – N 4. – P. 43 – 46.

7. Bogoslovsky, A. V. A Way of Energy Analysis for Image and Video Sequence Processing / A. V. Bogoslovsky, I. V. Zhigulina. – Intelligent Systems Reference Library. – V. 73. Computer Vision in Control Systems-1. Mathematical Theory. – Springer. – 2015. – P. 183 – 210.

УДК 543.42
ББК Г24.46

Барсуков В. И., Дмитриев О. С., Вязовов В. Б.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

АТОМНО-АБСОРБЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КАК МЕТОД ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Barsukov V. I., Dmitriev O. S., Vyazovov V. B.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY AS A METHOD ECOLOGICAL MONITORING

Аннотация. Показана возможность анализа микроэлементов в питьевых, минеральных, промышленно-технических и сточных водах с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии, как альтернативы химическим методам.

Ключевые слова: атомно-абсорбционная спектроскопия, атомизатор, пламя.

Abstract. The ability to analyze microelements in drinking water, mineral, industrial, technical and waste water using atomic absorption spectroscopy is shown as an alternative to chemical methods.

Keywords: atomic absorption spectroscopy, atomizer, flame.

Мониторинг тяжелых металлов и других микроэлементов в питьевых, минеральных, промышленно-технических и сточных водах является актуальной задачей с экологической точки зрения. Для решения этой задачи используются, в основном, химические методы, которые являются трудоемкими и требуют достаточно много времени для анализа [1]. Альтернативой химическим методам является атомно-абсорбционная спектроскопия, которая не уступает химическим методам по чувствительности и точности анализа, а также превосходит их по экспрессности определения и имеет малую стоимость [2, 3].

В лаборатории спектрального анализа ТГТУ для исследования состава вод успешно применяются как пламенные атомно-абсорбционные спектрофотометры, так и с электротермической атомизацией исследуемой пробы. Накоплен опыт анализа вод открытых водоемов, питьевых, лечебно-минеральных, технических вод, а также промышленных и сельскохозяйственных сточных вод на содержание в них меди, кобальта, хрома, никеля, железа, марганца, натрия, калия, кальция, магния и цинка. Для проведения анализа применяли пламя пропан-бутан-воздушной смеси, а также ацетилен-

воздушной смеси. При определении этих микроэлементов были использованы следующие аналитические линии:

➤ при анализе питьевых и минеральных вод, а также вод открытых водоемов:

- для натрия – 589,0 и 589,6 нм;
- для калия – 766,5 нм;
- для кальция – 422,7 нм;
- для магния – 285,2 нм;
- для цинка – 213,9 нм,

➤ при анализе промышленных и сельскохозяйственных сточных вод:

- для хрома – 357,9 нм;
- для никеля – 232,0 нм;
- для кобальта – 240,7 нм;
- для марганца – 279,5 нм;
- для железа – 248,3 нм.

В результате анализа проб питьевых, минеральных и промышленных сточных вод было получено следующее содержание микроэлементов:

➤ в питьевой воде:

- натрия и калия – 250...1800 мкг/мл;
- цинка – 0,01...0,15 мкг/мл;
- магния – 30...100 мкг/мл;

➤ в минеральной воде:

- натрия – до 2500 мкг/мл;
- магния – 4200...5100 мкг/мл;
- кальция – 250...600 мкг/мл;
- цинка – 0,04...0,25 мкг/мл;

➤ в промышленной сточной воде:

- цинка – до 0,70 мкг/мл;
- меди – до 1,20 мкг/мл;
- хрома – до 243,0 мкг/мл.

Применение в схеме регистрации компьютера с соответствующим программным обеспечением позволило увеличить производительность измерений, уменьшить величину стандартного отклонения, а также почти на порядок уменьшить предел обнаружения микроэлементов.

Полученные результаты анализа вод сравнивали с результатами исследований, проводимых химическими методами в других лабораториях, и было отмечено их хорошее соответствие. Таким образом, можем заявить, что метод атомно-абсорбционной спектроскопии является наиболее приемлемым для экологического мониторинга вод, вследствие его высокой экспрессности, меньших затратах на химреактивы и большей чувствительности.

Список использованных источников

1. Isaeva, O. V. Photochemical reactions of disulphide radical anions in frozen water-salt matrix / O. V. Isaeva, Yu. V. Razskazovsky, M. Ya. Mel'nikov // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1986. – V. 106, N 5. – P. 281 – 293.

2. Барсуков, В. И. Распределение атомов в поглощающей ячейке атомизатора с вольфрамовой спиралью / В. И. Барсуков, В. Б. Вязовов, Ю. П. Ляшенко, О. С. Дмитриев, А. А. Барсуков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 496 – 503.

3. Барсуков, В. И. Планирование эксперимента при определении микроэлементов в водных растворах методом атомно-абсорбционной спектроскопии / В. И. Барсуков, М. В. Гребенников, О. С. Дмитриев, А. А. Емельянов, А. А. Барсуков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 114 – 121.

References

1. Isaeva, O. V. Photochemical reactions of disulphide radical anions in frozen water-salt matrix / O. V. Isaeva, Yu. V. Razskazovsky, M. Ya. Mel'nikov // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1986. – V. 106, N 5. – P. 281 – 293.

2. Barsukov, V.I. Distribution of atoms in the absorption cell of the tungsten spiral atomizer / V. I. Barsukov, V. B. Vyazovov, Yu. P. Lyashenko, O. S. Dmitriev, A. A. Barsukov // Vestnik TGTU. – 2015. – V. 21, N 3. – P. 496 – 503.

3. Barsukov, V. I. Experimental design for identification of microelements in aqueous solutions by atomic absorption spectroscopy / V. I. Barsukov, M. V. Grebennikov, O. S. Dmitriev, A. A. Emelyanov, A. A. Barsukov // Vestnik TGTU. – 2016. – V. 22, N 1. – P. 114 – 121.

Волков А. Ю. Строев В. М.
Тамбовский государственный технический институт
(Россия, г. Тамбов)

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕЧНЫХ И ОЗЕРНЫХ ВОДОЕМАХ «НЕПТУН»

Volkov A. Yu. Stroeov V. M.
Tambov State Technical Institute
(Russia, Tambov)

QUALITY CONTROL SYSTEMS IN THE WATER OF RIVER AND LAKE WATERS “NEPTUNE”

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема загрязнения водоемов и эффективный способ оценки качества воды в них по различным критериям. Предложенная система контроля качества воды построена на основе модели подводной лодки NEPTUNE SB-1 EP.

Ключевые слова: водоем, качество воды, NEPTUNE SB-1 EP.

Abstract. In this article the problem of pollution of water bodies and effective way to assess the quality of water in them according to various criteria. The proposed water quality monitoring system is based on the model NEPTUNE SB-1 EP submarine.

Keywords: pond, water quality, NEPTUNE SB-1 EP.

Вода играет огромную роль в жизни человека. Она используется человеком в самых различных целях: для питья, полива растений, как средство гигиены, как растворитель, также, человек пользуется ресурсами, находящимися в воде.

В настоящее время, в связи с ростом проблемы экологических загрязнений водоемов, очень актуален вопрос разработки универсальных систем контроля качества воды в речных и озерных водоемах. Это необходимо для того, чтобы поддерживать экологическое равновесие данного участка природы, не допускать вымирания различных видов на этом участке и обеспечить безопасность пользования этими ресурсами. В данной работе предложена система контроля воды в речных и озерных водоемах на основе модели подводной лодки NEPTUNE SB-1 EP.

В настоящее время существует множество методов оценки качества воды в речных и озерных водоемах. Главными критериями по оценке качества воды являются: биологические и химические критерии, критерии мутности и анализа донных отложений.

Предложенный способ контроля качества воды в речных и озерных водоемах на основе модели подводной лодки NEPTUNESB-1 EP позволяет:

а) Оценивать качество воды, производя забор воды для дальнейшего анализа по биологическим и химическим критериям, практически в любой точке водоема, так как

данная модель подводной лодки имеет рабочую глубину погружения 5 м (максимальная до 10 м), также в отличие от большинства радиоуправляемых лодок, которым для «нырка» под воду требуется разгон, Нептун может погружаться, оставаться статически неподвижной и очень точно позиционироваться под водой при помощи балластной цистерны.

б) Получать данные об обитателях водоема и форме донного рельефа, что позволяет судить об экосистеме водоема и также может служить критерием оценки состояния загрязнения. Формируемое подводное изображение выводится на экран и также записывается в режиме видео на флеш накопитель объемом 64 Гб.

в) Оценивать качество по мутности и цвету воды. Этот критерий является одним из важнейших критериев оценки загрязненности водоема. На лодку устанавливается цветной фотоприемник, который будет принимать отраженный от мутной воды пучок света, испущенный с подводной лодки, и по отраженному свету формируется распределение мутности воды по глубине водоема. Полученное распределение мутности может использоваться для выявления загрязненных слоев воды и задания координат забора воды для дальнейшего анализа по биологическим и химическим критериям.

Предлагается способ светолокационного измерения мутности воды по слоям, заключающийся в направлении зондирующих импульсов света вниз в толщу воды, включении фотоприемника излучения первым стробом – импульсом питания одновременно с первым зондирующим импульсом, причем фотоприемник во время строба периодически включается и выключается, причем время выключения равно или больше времени восстановления фотоприемника, приеме эхо-сигнала, определении времени задержки между зондирующим импульсом и срабатыванием фотоприемника, направлении в момент срабатывания фотоприемника единичного импульса в ячейку памяти, соответствующую времени срабатывания фотоприемника, смещении каждого последующего строба-импульса питания фотоприемника на величину, равную времени между началом первого зондирующего импульса и последовательно каждым следующим выключением фотоприемника в первом стробе-импульсе питания, повторении измерений, суммировании единичных импульсов в соответствующих ячейках памяти и передаче данных на компьютер для построения гистограммы, а число смещений равно отношению длительности выключения фотоприемника в стробе к длительности строба включения фотоприемника, и при завершении измерений – формирование в ячейках памяти гистограммы – распределение числа единичных импульсов по времени задержки относительно зондирующего светового импульса по всей длине зондируемого пространства, отличающийся тем, что в течение первого строба производится оцифровка и запись последовательности эхо-сигналов, а также динамический анализ формируемой последовательности для обнаружения момента окончания первого слоя мутности воды и фиксирования в этот момент уровня фонового эхо-сигнала, который в дальнейшем вычитается из последующих уровней принимаемых эхо-сигналов. В то же время фотоприемник измеряет эхо-сигнал и по отношению зондирующего импульса и эхо-сигнала определяет мутность воды послойно. Эффективность предложенного способа определяется тем, что сигнал от второго слоя мутности принимается вместе с фоновым солнечным

сигналом от первого слоя мутности. Компенсация фонового сигнала позволит повысить отношение сигнал/фон при приеме сигнала от второго слоя мутности и, как следствие, – увеличить вероятность приема эхо-сигнала при меньшей мощности зондирующего светового импульса. В данный момент разработаны фотоприемники позволяющие регистрировать эхо-сигнал из глубины от 4м., что позволяет проводить данное исследование не только в глубоких, но и в более мелких водоемах.

Данная система контроля качества воды в речных и озерных водоемах на основе модели подводной лодки NEPTUNESB-1 EP позволяет комплексно оценить состояние воды в водоеме по всем значимым критериям оценки, также этот способ не является дорогим в обслуживании и может быть использован многократно. Все расходные материалы могут быть легко заменены при износе ввиду их легкой доступности на рынке Российской Федерации.

Список использованных источников

1. Алексеев, Л. С. Контроль качества воды [Текст] / Алексеев, Л. С. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 159 с.
2. Ивчатов, А. Л. Химия воды и микробиология. [Текст] / А. Л. Ивчатов. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 218 с.

References

1. Alekseev, L. S. Water quality control [Text] / Alekseev, L.S. – M. : INFRA-M, 2004. – P. 159.
2. Ivchatov, A. L. water chemistry and microbiology [Text] / A. L. Ivchatov, – M. : INFRA-M, 2006. – P. 218.

УДК 53.082.531

ББК 34.9

Guilcatoma M. P. M., Savenkov A. P., Safonova M. E., Sychev V. A.

Universidad Tecnica Estatal de Tambov, Tambov
(Russia, Tambov)

ESTUDIOS DE LOS FACTORES DE REFLEJOS DE LOS SEMICONDUCTORES POLARIZADOS DE LOS LASERES DE RADIACION

Guilcatoma M. P. M., Savenkov A. P., Safonova M. E., Sychev V. A.

Tambov State Technical University, Tambov
(Russia, Tambov)

THE ANALYSIS OF SEMICONDUCTOR LASERS POLARIZED RADIATION REFLECTION FACTORS

Гуилкатома М. П. М., Савенков А. П., Сафонова М. Э., Сычев В. А.

Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ

Resumen. Con el fin de determinar el grado de polarización de la radiación de los lasers semiconductores teóricamente y experimentalmente dependiendo del estudio de los coeficientes de reflejos desde su ángulo de caída. Obteniendo la dependencia de ondas, el plano de polarización los cuales coinciden con el plano de la caída, y las ondas con el plano de polarización perpendicular al plano de caída. Estudio experimental realizado en dos tipos de líquidos con diferencia significativa de índice de refracción: en agua y en resina de epoxy. El alto nivel de armonía de los datos experimentales y teóricos nos permite considerar la radiación del láser de diodo como totalmente polarizada. El nivel de polarización se compone no menos del 99%. Los resultados obtenidos se deben utilizar en el desarrollo de los detectores ópticos sin contacto a distancia hasta la superficie del líquido.

Palabras clave: semiconductor, laser, diodo, la polarización, coeficiente de reflejo, dependencia, ángulo de caída, grado de polarización, líquido, distancia, medición.

Abstract. To determine the degree of polarization of semiconductor lasers radiation the dependencies of reflection factors on the incidence angle have been investigated theoretically and experimentally. The dependencies for waves polarization plane of whose coincides with the incident plane and waves with polarization plane perpendicular to incident plane were obtained. Experimental investigations made on two liquids with significantly different refraction indexes: water and epoxy resin. High degree of agreement between experimental and theoretical data allows considering radiation of laser diodes as fully polarized. The degree of polarization is not less than 99%. It is necessary to use the obtained results during development of contactless optical detectors of distance to liquid surface.

Keywords: semiconductor, laser, diode, polarization, reflection factor, dependence, incident angle, degree of polarization, liquid, distance, measurement.

Аннотация. С целью определения степени поляризации излучения полупроводниковых лазеров теоретически и экспериментально исследованы зависимости коэффициентов отражения от угла падения. Получены зависимости для волн, плоскость поляризации которых совпадает с плоскостью падения, и волн с плоскостью поляризации перпендикулярной плоскости падения. Экспериментальные исследования проведены на двух жидкостях со значительно различающимися показателями преломления: воде и эпоксидной смоле. Высокая степень соответствия экспериментальных и теоретических данных позволяет рассматривать излучение лазерных диодов как полностью поляризованное. Степень поляризации составляет не менее 99%. Полученные результаты необходимо использовать при разработке бесконтактных оптических детекторов расстояния до поверхности жидкости.

Ключевые слова: полупроводник, лазер, диод, поляризация, коэффициент отражения, зависимость, угол падения, степень поляризации, жидкость, расстояние, измерение.

En algunos casos de laboratorio automáticos y de plantas industriales se requiere medición a distancia sin contacto a la superficie líquida. Esta necesidad surge, por ejemplo, en el control de la viscosidad y con los métodos aerodinámicos de la tensión superficial de los líquidos [1 – 3]. El conocido uso del método de triangulación en este caso no es posible, ya que está diseñado para la medición sin contacto a distancia hasta la superficie de la luz dispersa [4, 5]. La superficie líquida normalmente refleja la luz sin dispersión, la cual requiere el uso de otros métodos.

Para la medición a distancia sin contacto hasta la superficie líquida normalmente se utiliza un detector, esquema que se muestra en la Figura 1 [6 – 8]. Su funcionamiento se basa en la posición de fijación predeterminada de la fuente de haz de luz del láser 1, que se refleja desde la superficie del líquido controlado 3. Para la determinación de la posición del haz de luz se utiliza, por ejemplo, el convertidor diferencial de fotodiódos 2, esto indica la igualdad del flujo luminoso, los cuales son recibidos en la superficie de dos fotodiodos. La ejecución concreta de que esta igualdad demuestra el alcance distancial determinado H_0 desde el

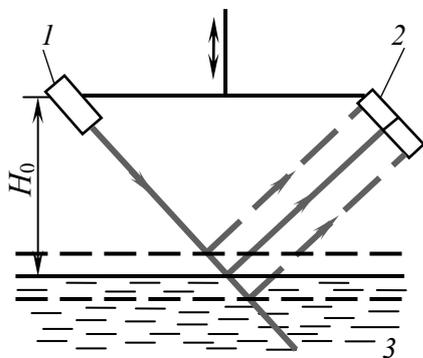


Figure 1. Esquema del detector distancial sin contacto hasta la superficie líquida

detector hasta la superficie líquida controlada 3. En el caso de rechazo distancial desde H_0 entonces como resultado de salida del conversor 2 la señal de igualdad del flujo luminoso no estará presente (estos casos se muestran en el fig. 1 por líneas de trazos).

Para simplificar la construcción en un detector distancial sin contacto como la fuente de radiación es aconsejable utilizar un láser semiconductor de bajo consumo. La radiación del diodo del láser es parcialmente polarizada. La dependencia del coeficiente de reflexión desde el ángulo de inclinación para la radiación polarizada es compleja. Existe el ángulo de Brewster por el cual el coeficiente de reflexión de onda y el

plano de polarización el cual se encuentra en plano de inclinación (onda-p) es igual a cero [9]. Es aconsejable tener en cuenta en el desarrollo del detector. Presentar el interés en la interrogante, cuan potente es la radiación real del laser de diodo polarizado.

En el presente trabajo se exponen los resultados de un estudio de los coeficientes de reflejos de laser de diodo en la interfase entre las fases gaseosa y líquida en diferentes posiciones del plano polarizado.

La proyección 4 del haz de luz del láser de diodo 1 en el plano 3 perpendicular al eje O de propagación es de forma elíptica (Fig. 2). El plano de polarización 2 coincide con el plano de oscilación del vector E del campo eléctrico y perpendicular al plano de oscilación del vector H del campo magnético, el cual pasa a través del eje principal de la elipse 4.

Cuando la luz se refleja su interfaz entre dos entornos con diferentes densidades ópticas, se puede distinguir dos coeficientes de reflejos R_p y R_s para las ondas- p es el plano de polarización el cual se encuentra en el plano de su proyección, y para las ondas- s es el plano de polarización el cual se encuentra perpendicular al plano de proyección, con respecto [9]:

$$R_p = \frac{\operatorname{tg}^2 \left[\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) - \psi \right]}{\operatorname{tg}^2 \left[\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) + \psi \right]}; \quad (1)$$

$$R_s = \frac{\sin^2 \left[\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) - \psi \right]}{\sin^2 \left[\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) + \psi \right]}, \quad (2)$$

donde ϕ – es el ángulo entre el haz de luz y la superficie del element analizado; ψ – es el ángulo de refracción (Fig. 3).

El ángulo de refracción ψ puede ser analizado con la formula

$$\psi = \arcsin \left(\frac{\cos \phi}{n} \right), \quad (3)$$

donde n – es el índice de la refracción liquida 3 (Fig. 3). En la formula (3) se utiliza el índice de refracción absoluta n , debido al hecho de que el índice de refracción del aire es

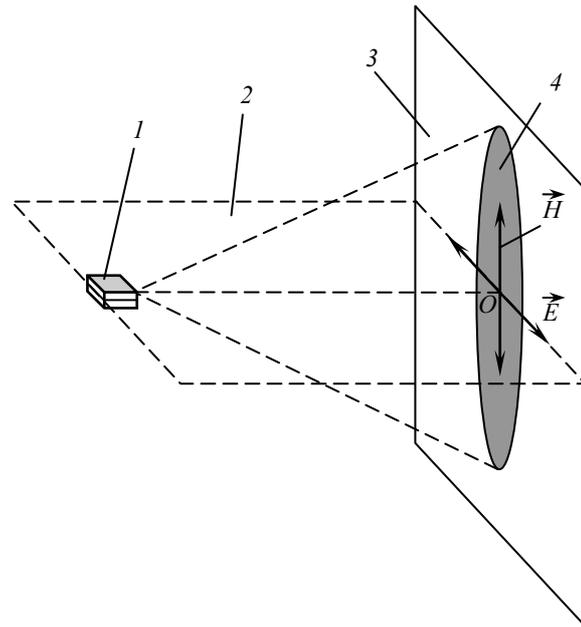


Figure 2. Explicación de la ubicación del plano polarizado del laser de diodo

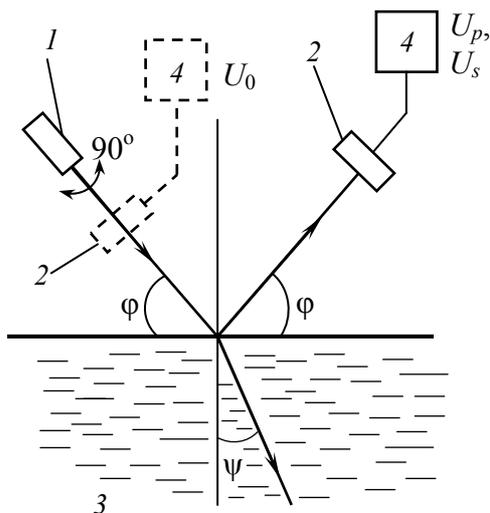


Figure 3. Esquema del refjo del coeficiente de medición

de diodo desde la superficie liquida 3 se llevo a cabo en una plata piloto que permitia cambiar el ángulo ϕ en el interval de 10° hasta los 90° y permitia girar el plano de polarización a 90° con la rotación del láser de diodo de tipo 1 LMS650D0610W marca Shanghai LECC Opto (China) alrededor de su propio eje (Fig. 3). La potencia del láser de diodo se llevo acabo con la ayuda de un generador, la corriente establecida fue de 20 mA, la tensión eléctrica varió en un rago de 3,2V a 3,7V. Para medir la intensidad del laser de diodo se utilizó 2 fotodiodos de tipo 3WK164 73 empresa TESLA (República Checa) en modo de fotoconvertidores. Fue utilizada la conexción inversa del diodo 2 hacia una fuente de alimentación de tensión constante de 5V a travez de una sucesiva resintencia en serie de 470Ω , resistencia U que constituye senal de salida del fotoconvertidor. La tension U fue madida con la ayuda de un voltímetro digital 4.

Los coeficientes de refracciones fueron calculados por las fórmulas

$$R_p = \frac{U_p}{U_0}, \quad (6)$$

$$R_s = \frac{U_s}{U_0}, \quad (7)$$

donde U_p , U_s y U_0 – son los voltajes en la salida del convertidor 2 de la acción a su superficie de radiación activa, reflejados desde la superficie liquida, para las ondas p y s y непосредственно на выходе лазерного диода, correspondiente (Fig. 3). El uso de las magnitudes de las tensiones en las formulas (6) y (7) es aceptable para el laser de radiación de intensidad, la variación que determina los valores de los coeficientes de refracción es directamente proporcional al flujo luminoso, que cayendo en la superficie del cristal fotodiodico consecutivamente, provoca una corriente proporcional, corriente que pasa con descenso proporcional de voltaje por el resistor de carga. Debido a la alta indensidad de la racion del láser de radiación externa tiene poco efecto en los resultados de la medición de los coeficientes refracción.

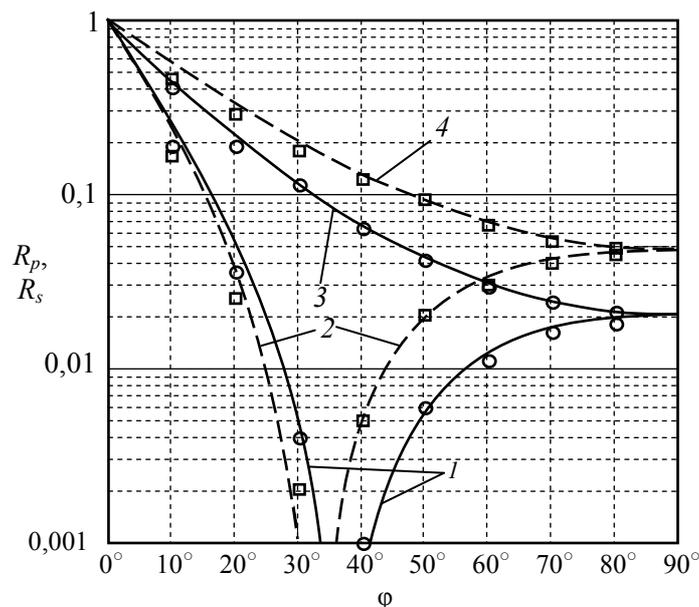


Figure 4. Relación de los coeficientes de refracción R_p (1, 2) y R_s (3, 4) desde el ángulo φ para $n = 1,33$ (2, 4) y $n = 1,57$ (1, 3) y datos experimentales correspondientes \circ – $n = 1,33$ (agua), \square – $n = 1,57$ (resina de epoxydo)

En la figura 4 se muestran los coeficientes teóricos (4), (5) y los coeficientes relacionados experimentalmente (6), (7) de R_p y R_s del reflejo de refracción del láser de diodo desde el ángulo φ . Los experimentos fueron llevados a cabo en líquidos con diferentes índices de refracción: en agua y en resina de epoxida. Con estudios de rango (1,3–1,6) encajan en la mayoría de los líquidos reales.

Conforme a los datos obtenidos teóricamente y experimentalmente se puede concluir con un alto grado de radiación de polarización del láser de diodo. En los ángulos φ aproximados al ángulo Brewster ($30^\circ - 40^\circ$) la relación de los coeficientes R_p y R_s toma los valores $\sim 0,01$ (1 %), por lo tanto, el grado de polarización constituye no menos del 99% [9]. Estos resultados desarrollados con el detector distancional óptico sin contacto permite considerar la radiación de los láseres semiconductores como totalmente polarizados.

El trabajo fue realizado dentro de los rangos de programas Presidenciales de la Federación Rusa para el apoyo estatal a las principales instituciones de investigación (grant № HSH-2411.2014.3).

List of literature/References

1. Mordasov, D. M. *Aerohydrodynamic Effects in Noncontact Jet NDT Methods of Liquid Viscosity* / D. M. Mordasov, M. M. Mordasov, and A. P. Savenkov. – Fizmatlit, Moscow, 2012. – 354 p.
2. Mordasov, M. M. *Contactless Methods for Measuring Liquid Viscosity (Review)* / M. M. Mordasov, A. P. Savenkov // *Inorganic Materials*. – 2014. – V. 50, N 15. – P. 1435 – 1443. – DOI: 10.1134/S0020168514150126
3. Pfund, A. H. *Surface-Tension Measurements of Viscous Liquids* / A. H. Pfund, E. W. Greenfield // *Ind. Eng. Chem.* – 1936. V. 8, N 2. – P. 81–82. – DOI: 10.1021/ac50100a001.

4. Liebe, C. C. Distance Measurement Utilizing Image-Based Triangulation / C. C. Liebe, K. Coste // IEEE Sensors Journal. – 2013. – V. 13, N 1. – P. 234 – 244. – DOI: 10.1109/JSEN.2012.2212428.

5. Baibakov, A. N. Laser Triangulation Position Sensor in Industrial Inspection and Diagnostics Systems / A. N. Baibakov, V. I. Ladygin, A. I. Pastushenko, S. V. Plotnikov, N. T. Tukubaev, S. P. Yunoshev // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing (Autometriya). – 2004. – V. 40, N 2. – P. 83 – 90.

6. Pat. 5005401 US, G01N 11/00, G01N 13/02. Noncontact On-Line Measurement of the Viscosity of Liquid Paint / Pierce B. M., Chang D. B. Appl. N 478839. Filed 12.02.1990. Pat. 09.04.1991. – 9 p.

7. Pat. 2836972 DE, G01N 13/02. Verfahren zur berührungslosen Messung der Oberflächenspannung und der Viskosität / Lierke E.-G., Heide W. M., Achatz M. Aktenzeichen P2836972.4. Anmeldetag 24.08.1978. Offenlegungstag 06.03.1980. – 20 p.

8. Mordasov, M. M. Contactless Aerohydrodynamic Non-Destructive Testing of Liquid Viscosity / M. M. Mordasov, A. P. Savenkov // Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov. – 2008. – V. 74, N 3. – P. 22 – 25.

9. Landsberg G. S. Optics. – Moscow : Nauka, 1976. – 928 p.

Список использованных источников

1. Мордасов, Д. М. Аэрогидродинамические эффекты в бесконтактных струйных методах неразрушающего контроля вязкости жидких веществ / Д. М. Мордасов, М. М. Мордасов, А. П. Савенков. – М. : Физматлит, 2012. – 352 с. – ISBN 978-5-9221-1428-8.

2. Мордасов, М. М. Бесконтактные методы измерения вязкости жидкостей (обзор) / М. М. Мордасов, А. П. Савенков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Т. 79. № 1. С. 27 – 35.

3. Pfund, A. H. Surface-Tension Measurements of Viscous Liquids / A. H. Pfund, E. W. Greenfield // Ind. Eng. Chem. – 1936. V. 8, N 2. – P. 81–82. – DOI: 10.1021/ac50100a001.

4. Liebe, C. C. Distance Measurement Utilizing Image-Based Triangulation / C. C. Liebe, K. Coste // IEEE Sensors Journal. – 2013. – V. 13, N 1. – P. 234 – 244. – DOI: 10.1109/JSEN.2012.2212428.

5. Байбаков, А. Н. Лазерные триангуляционные датчики положения в промышленных системах контроля и диагностики / А. Н. Байбаков, В. И. Ладыгин, А. И. Пастушенко, С. В. Плотников, Н. Т. Тукубаев, С. П. Юношев // Автометрия. – 2004. – Т. 40, № 2. – С. 105 – 113.

6. Pat. 5005401 US, G01N 11/00, G01N 13/02. Noncontact On-Line Measurement of the Viscosity of Liquid Paint / B. M. Pierce, D. B. Chang. Appl. N 478839. Filed 12.02.1990. Pat. 09.04.1991. – 9 p.

7. Pat. 2836972 DE, G01N 13/02. Verfahren zur berührungslosen Messung der Oberflächenspannung und der Viskosität / Lierke E.-G., Heide W. M., Achatz M. Aktenzeichen P2836972.4. Anmeldetag 24.08.1978. Offenlegungstag 06.03.1980. – 20 p.

8. Мордасов, М. М. Бесконтактный неразрушающий аэрогидродинамический контроль вязкости жидкостей / М. М. Мордасов, А. П. Савенков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74, № 3. – С. 22 – 25.

9. Ландсберг, Г. С. Оптика. – М. : Наука, 1976. – 928 с.

УДК 532.13: 678.028
ББК Ж30.10

Дмитриев А. О., Дмитриев О. С.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

О ВЫБОРЕ УСЛОВИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ОТВЕРЖДЕНИИ

Dmitriev A. O., Dmitriev O. S.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

ON THE DETERMINATION CONDITIONS CHOICE OF KINETIC AND RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER COMPOSITES DURING CURE

Аннотация. Проведен анализ источников погрешностей при определении кинетических и реологических характеристик процесса отверждения полимерных композитов с целью выбора оптимальных условий экспериментальных исследований.

Ключевые слова: кинетические и реологические характеристики; оптимальные условия.

Abstract. Analysis of the error sources in the determination of kinetic and rheological characteristics of polymer composites curing process is performed to select the optimal conditions for experimental research.

Keywords: kinetic and rheological characteristics; optimal conditions.

Результаты экспериментального определения кинетических и реологических характеристик процесса отверждения полимерных композитов всегда содержат погрешности, которые являются следствием различных причин и явлений. Одной из причин этих погрешностей являются условия проведения эксперимента [1]. Поэтому целью работы является анализ источников погрешностей и выбор оптимальных условий проведения экспериментов, минимизирующих погрешности определения кинетических и реологических характеристик полимерных композитов при отверждении.

Методы определения кинетических и реологических характеристик, являются косвенными методами измерений. В процессе эксперимента измеряется не интересующая нас величина, а величины связанные с искомой величиной некоторым соотношением, например, толщина образца L , температура T , мощность тепловыделений W и т.п. Измерив эти величины, искомая величина рассчитывается на основе математической модели, которая используется при получении метода измерения [2 – 5].

Мощность тепловыделений W , которая используется как входная величина, сама определяется косвенно и для ее расчета необходимо измерять экспериментально во

времени температуру T , тепловой поток q , толщину L , теплоемкость C , теплопроводность λ и производную температуры T' [2, 3]. Все эти величины также не являются результатом прямых измерений, а определяются на основе своих расчетных формул, градуировочных характеристик и уравнений. Как вытекает из работы [1], при этом необходимо в формулу погрешности подставлять, соответственные выражения погрешностей этих косвенно определяемых величин, и этим выражать искомую величину в зависимости от прямо измеряемых величин. При этом могут получаться весьма сложные и трудно применяемые на практике выражения. По этой причине оценивать погрешности кинетических и реологических характеристик рационально с некоторым упрощением и применять входные данные как прямые измерения с соответствующими погрешностями.

Исходными данными формул определения кинетических характеристик являются среднеинтегральная температура $T_{\text{ср}}$, мощность тепловыделений W , тепловой эффект $Q_{\text{п}}$ и универсальная газовая постоянная R [3, 4]. Температура $T_{\text{ср}}$ измеряется экспериментально термопарами и пересчитывается по градуировочной характеристике с последующим интегрированием. Поэтому среднеинтегральная температура также является косвенно измеренной, полученной в результате расчетов. Используя измеренные величины, с помощью теории погрешностей на основе расчетных формул определения энергии активации E и кинетической функции φ , получены среднеквадратичные оценки их относительной погрешности δ_E, δ_φ .

В этих формулах погрешность расчета φ получена для натурального логарифма кинетической функции $\ln\varphi$, которая выражает экспоненциальную зависимость скорости реакции от степени отверждения β . При увеличении β от 0 до 1 функция φ изменяется в больших пределах, например, от 10^{12} до 10^{-2} с^{-1} . Следует также учесть, что кинетическую функцию φ получили из решения системы уравнений в полулогарифмических координатах и поэтому оценивать погрешность определения кинетической функции φ необходимо с учетом влияния погрешности исходных данных на натуральный логарифм $\ln\varphi$.

Реологические характеристики определяются по расчетным формулам, для которых необходимы температурно-временные измерения в двух или более режимах отверждения исследуемых образцов [2, 3]. Расчеты по этим формулам выполняются на основе среднеинтегральной температура $T_{\text{ср}}$, толщины образца L , ее производной L' , площади образца S , силы, приложенной к образцу F и универсальной газовой постоянной R . Используя измеряемые в эксперименте величины, на основе расчетных формул определения энергии активации вязкого течения E_{μ} и структурной составляющей вязкости связующего при отверждении $\tilde{\mu}(\beta)$, получены среднеквадратичные оценки их относительной погрешностей $\delta_{E_{\mu}}$ и $\delta_{\ln\mu}$.

Численный анализ полученных выражений погрешности определения реологических характеристик E_{μ} и $\tilde{\mu}(\beta)$ позволяет сделать заключение, что относительная погрешность $\delta_{E_{\mu}}$ значительно зависит от разности толщины $L(0) - L(t)$ в начальный и текущий момент, от разности температуры $T_2 - T_1$, а также от отношения скорости изме-

нения толщин образцов L'_1/L'_2 . Причем два последних параметра поддаются управлению при экспериментальном исследовании, что позволяет проводить планирование эксперимента с целью минимизации погрешности $\delta_{E_{\mu}}$ определения E_{μ} при известных погрешностях δ_T и δ_L . Разность толщин $L(0) - L(t)$ увеличивается при исследовании во времени и зависит от давления на образец, температуры и типа материала.

Таким образом, на основе анализа источников погрешностей задачу поиска оптимальных условий проведения экспериментальных исследований по определению кинетических и реологических характеристик процесса отверждения полимерных композитов можно сформулировать следующим образом: для искомых характеристик требуется найти такие значения условий экспериментов, чтобы погрешность их была минимальной.

Задача решалась методом имитационного моделирования. Имитационное моделирование проводится путем последовательного изменения величины одного из параметров условий проведения экспериментов при неизменных значениях остальных параметров и получения погрешностей методов расчета. После завершения расчетов с изменением значения одного параметра переходили к исследованию следующего параметра и так далее. В результате численного моделирования для каждого параметра условий проведения экспериментов получили соответствующие погрешности искомых характеристик. Далее проводится анализ полученных значений и выбирается оптимальный диапазон значений условий проведения экспериментов, при которых погрешность определения кинетических и реологических характеристик полимерных композитов при отверждении минимальна.

В результате решения этой задачи были получены рекомендации по выбору оптимальных условий проведения экспериментов исследования процесса отверждения полимерных композитов.

Предложенная процедура имитационного моделирования входит в состав информационно-измерительной системы исследования теплофизических, кинетических и реологических характеристик, обеспечивая минимизацию погрешности их определения, которые необходимы для расчета оптимальных режимов отверждения изделий из полимерных композитов [4, 5].

Список использованных источников

1. Грановский, В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 328 с.
2. Дмитриев, О. С. Метод исследования параметров течения связующего при отверждении композитов / О. С. Дмитриев, С. В. Мищенко, А. О. Дмитриев // Вестник ТГТУ. – 2005. – Т. 11, № 1. – С. 53 – 61.
3. Дмитриев, О. С. Тепломассоперенос и кинетика отверждения полимерного композиционного материала при автоклавном вакуумном формовании изделий / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, С. В. Мищенко, А. О. Дмитриев // Инженерная физика. – 2010. – № 9. – С. 3 – 12.

4. Дмитриев, О. С. Интегрированная информационно-измерительная система исследования свойств и расчета режимов отверждения полимерных композитов / О. С. Дмитриев, С. В. Мищенко, А. О. Дмитриев, И. С. Касатонов, С. О. Дмитриев // Вестник ТГТУ. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 230 – 240.

5. Дмитриев, О. С. Влияние типа наполнителя на оптимальные режимы отверждения толстостенных ПКМ / О. С. Дмитриев, В. Н. Кириллов, А. В. Зуев, А. А. Черепихина // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – № 11. – С. 27 – 36.

References

1. Granovski, V. A. Methods of processing of experimental data in the measurement / V. A. Granovski, T. N. Siraia. – L. : Energoatomizdat, 1990. – 328 p.

2. Dmitriev, O. S. A method for studying of the flow parameters of the binder during cure composites / O. S. Dmitriev, S. V. Mishchenko, A. O. Dmitriev // Vestnik TGTU. – 2005. – V. 11, N 1. – P. 53 – 61.

3. Dmitriev, O. S. Heat and mass transfer and kinetics of curing of polymer composite material in a vacuum autoclave molding products / O. S. Dmitriev, V. N. Kirillov, S. V. Mishchenko, A. O. Dmitriev // Injenernaia fizika. – 2010. – N 9. – P. 3 – 12.

4. Dmitriev, O. S. Integrated information-measuring system for studies of the properties and calculating of the curing cycles of polymer composites / O. S. Dmitriev, S. V. Mishchenko, A. O. Dmitriev, I. S. Kasatonov, S. O. Dmitriev // Vestnik TGTU. – 2008. V. 14, N 2. – P. 230 – 240.

5. Dmitriev, O. S. The effect of filler type on the optimal cure cycles of thick-walled PCM / O. S. Dmitriev, V. N. Kirillov, A. V. Zuev, A. A. Cherepahina // Klei. Germetiki. Tehnologii. – 2011, N 11. – P. 27 – 36.

УДК 53.086
ББК Ж30.10

Осипова И. А.

Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕМБРАН МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Osipova I. A.

Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

STUDY OF THE SURFACE FEATURES OF MEMBRANES BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY

Аннотация. Показаны возможности исследования морфологии поверхности микрофильтрационной мембраны марки МФА-МА методами атомно-силовой микроскопии в области отдельно взятой поры.

Ключевые слова: атомно-силовая микроскопия, мембрана, поры.

Abstract. The possibilities of surface morphology studies microfiltration membrane brand MFA-MA by atomic force microscopy in the individual pores are shown.

Keywords: atomic force microscopy, membrane, pores.

В настоящее время для очистки сточных вод на очистных сооружениях используются электрохимические и мембранные методы. Несмотря на преимущества электрохимических методов очистки, мембранные системы выделяются наибольшей эффективностью и продуктивностью и представляют собой систему полупроницаемых мембранных фильтров, задерживающих частицы и пропускающих жидкую составляющую. Микрофильтрацию применяют в баромембранных процессах, позволяющих под давлением порядка 0,03...0,10 МПа отделять микрочастицы, размером которых варьируется от 0,1 до 10,0 мкм для подготовки жидкостей к ультрафильтрации и обратному осмосу [3].

Известно, что фильтрационные свойства зависят от качества поверхности материала, от наличия пор, их среднего размера и конфигурации. В связи с этим актуальным является исследование поверхности мембран с целью выяснения и изучения морфологических особенностей строения в области одной поры. Современным средством решения поставленной задачи является использование возможностей сканирующей зондовой микроскопии, позволяющей многократно расширить возможности исследования морфологических свойств и структурных параметров поверхности пористых веществ и материалов методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) по сравнению с оптическими средствами [1].

Рассмотрим возможности учебного микроскопа Nano Educator, с помощью которого в Тамбовском государственном техническом университете в лаборатории сканирующей зондовой микроскопии была просканирована поверхность микрофильтрационной мембраны марки МФА-МА [2, 4, 5]. Несмотря на относительно низкую разрешающую способность микроскопа, результаты сканирования позволяют оценить количественные характеристики в области порядка нескольких микрометров, чего вполне достаточно для получения изображения поверхности в области микропоры микрофильтрационной мембраны и его дальнейшего исследования методами компьютерного моделирования и построения графиков посредством программы Scan Viewer.

На рисунке 1 показано 3D – АСМ изображение поверхности мембраны в области микропоры. Размер скана образца 20×20 мкм.

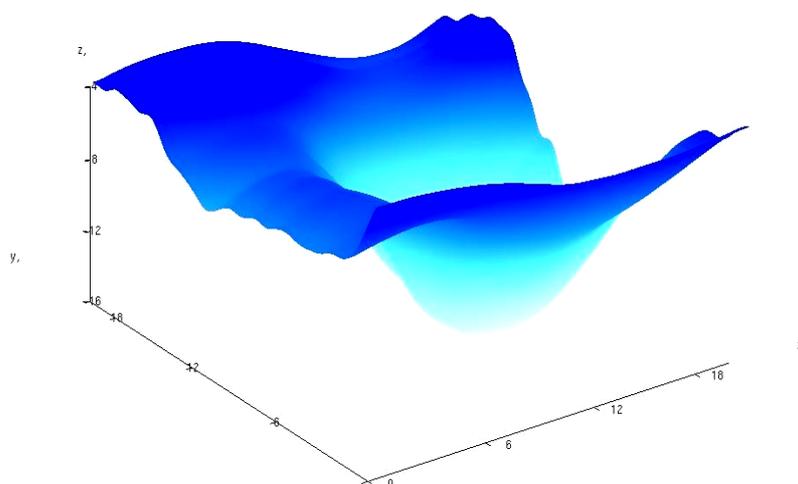


Рис. 1. 3D АСМ – изображение поверхности мембраны в области микропоры

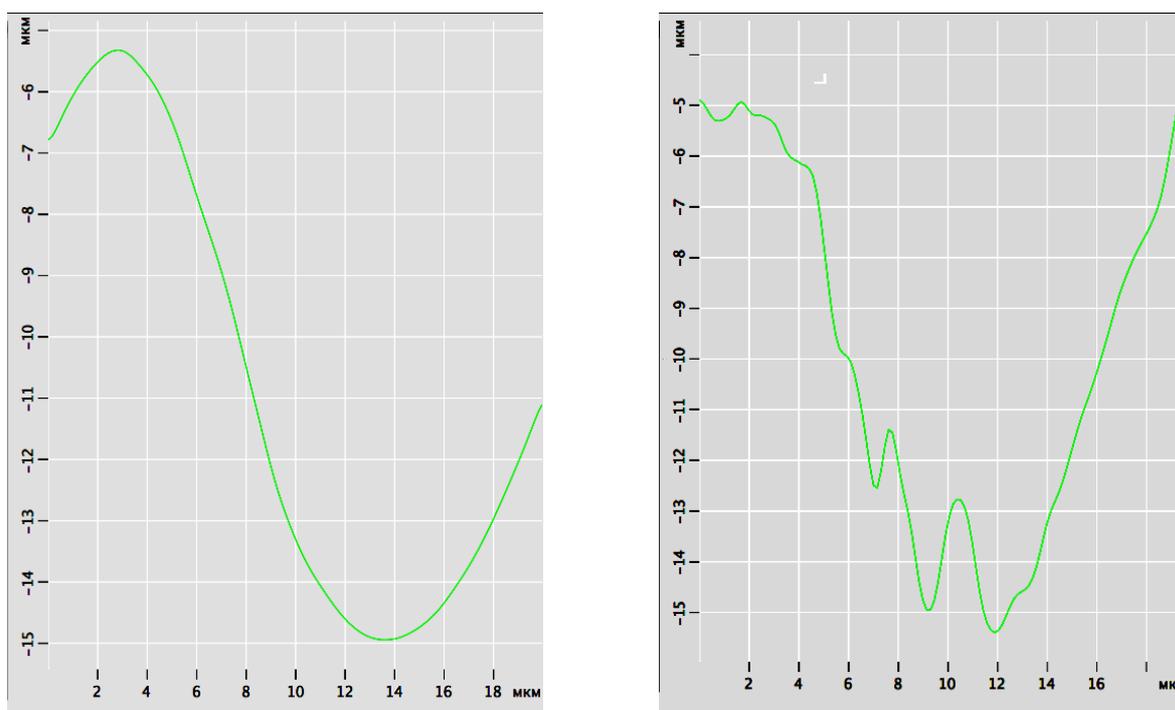


Рис. 2. Сечение 3D АСМ – изображения поверхности мембраны в области микропоры

Рельеф поверхности имеет следующие особенности: микропора вогнутой конической формы с симметричными стенками, угол наклона к основанию поры увеличивается, $\text{grad}Z(x, y)$ варьируется от 0,5 у поверхности до 10 у основания поры. Диаметр поры 16 мкм, 10 мкм и 5 мкм на поверхности, в средней части и на глубине у основания соответственно.

Таким образом, в работе продемонстрированы возможности зондового сканирующего микроскопа NanoEducator для исследования морфологии поверхности микрофильтрационной мембраны марки МФА-МА и результаты компьютерного моделирования посредством программы Scan Viewer. Исследуя поверхность мембраны методом атомно-силовой микроскопии можно детально изучить строение в области микропоры, определить важные технические характеристики, выявить особенности строения и формы микропоры, важные для процесса фильтрации.

Список использованных источников

1. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии // РАН Институт физики микроструктур. – Н. Новгород, 2004. – 114 с.
2. Иванов, В. Е. Исследование морфологии поверхности микрофильтрационных мембран МФА-МА методом атомно-силовой микроскопии / В. Е. Иванов, И. А. Осипова // II-я Всероссийская научно-практическая заочная электронная конференция «Кооперация науки, образования производства и бизнеса: новые идеи и перспективы безопасного развития в ближайшем будущем». – URL : <http://innovatika.web.tstu.ru/arhiv.html>
3. Абоносимов, Д. О. Применение мембранных технологий в очистке сточных вод гальванопроизводств / Д. О. Абоносимов, С. И. Лазарев // Вестник ТГТУ. – 2014. – Т. 20, N 2. – С. 306 – 313.
4. Исаева, О. В. Исследование поверхности дифракционной решетки методом сканирующей зондовой микроскопии / О. В. Исаева, В. Е. Иванов, Д. М. Комова // В сборнике: Труды Естественнонаучного и гуманитарного факультета ТГТУ. – Тамбов, 2014. – С. 75 – 81.
5. Петрова, И. В. Преемственность преподавания в системе школа-вуз / И. В. Петрова, О. В. Исаева // Вестник ТГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2011. – Т. 16, N 4. – С. 1144 – 1146.

References

1. Mironov, V. L. Fundamentals of the scanning probe microscopy // Institute of Microstructure Physics, RAS. – N. Novgorod, 2004. – 114 p.
2. Ivanov, V. E. Study of the surface morphology MFA-MA microfiltration membranes by atomic force microscopy / V. E. Ivanov, I. A. Osipova // Proceedings II All-Russia scientific-practical correspondence conference “The cooperation of science, education and production business, new ideas and safe development prospects in the near future” <http://innovatika.web.tstu.ru/arhiv.html>
3. Abonosimov, D. O. The use of membrane technology in the electroplating wastewater treatment / D. O. Abonosimov, S. I. Lazarev // Vestnik TGTU. – 2014. – V. 20, N 2. – P. 306 – 313.
4. Isaeva, O. V. Study of the surface of grating by scanning probe microscopy / O. V. Isaeva, V. E. Ivanov, D. M. Komov // In: Proceedings of the Natural Sciences and the Faculty of Humanities TSTU. – Tambov, 2014. – P. 75 – 81.
5. Petrova, I. V. Continuity of teaching in the school-university system / I. V. Petrova, O. V. Isaeva // Vestnik TSU. Series: Natural and Technical Sciences. – 2011. – V. 16, N 4. – P. 1144 – 1146.

УДК 691:536
ББК 32.816

Пасько А. А., Пасько Т. В., Ягубов В. С., Фролов И. И.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ

Pasko A. A., Pasko T. V., Yagubov V. S., Frolov I. I.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE THERMAL PROPERTIES OF MATERIALS

Аннотация. Разработан и изготовлен измеритель теплопроводности материалов, предложены программное обеспечение и методика измерений.

Ключевые слова: теплофизические свойства, коэффициент теплопроводности.

Abstract. The thermal conductivity meter was developed and fabricated. Besides, software and measurement methods are proposed.

Keywords: thermal properties, thermal conductivity coefficient.

При проектировании инженерных сооружений часто возникает потребность в определении теплофизических свойств окружающих грунтов. Грунты являются основанием проектируемых коммуникаций и обладают различными теплофизическими свойствами (теплоемкостью, теплопроводностью, удельным тепловым сопротивлением). Теплофизические свойства зависят от физических характеристик грунтов, в основном от влажности и плотности. Ошибки при выборе теплофизических характеристик грунта в проектных расчетах может привести к снижению работоспособности или аварийной ситуации.

Теплофизические характеристики грунта определяют опытным путем в соответствии с ГОСТ 26263–84.

При проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах физические, теплофизические и механические характеристики, определяются в лабораторных или полевых условиях при инженерных изысканиях для строительства.

Определение характеристик грунтов в полевых условиях позволяет получить наиболее достоверные данные.

На кафедре «Техника и технологии производства нанопродуктов» Тамбовского государственного технического университета в рамках соглашения № 14.577.21.0091 от 22.07.2014 г. по теме: «Разработка технических и технологических решений в области получения многослойных графенов, предназначенных для создания электродных наноматериалов накопителей энергии» разработана установка для определения теплофизических характеристик паст, гелей и т.п. материалов – «ТЕПЛО-ТЕСТ».



Рис. 1. Измерительная установка «ТЕПЛО-ТЕСТ»:

1 – зонд; 2 – активный сенсор (термодатчик / нагреватель); 3 – образец

Установка может быть использована для определения теплофизических характеристик различных пластичных материалов, например, грунтов и почв в полевых условиях.

Использование импульсных методов при определении теплофизических характеристик исследуемых образцов предполагает наличие нагревателя, размещенного в толщине исследуемого образца, и датчика температуры, расположенного на некотором удалении от него. Однако в разработанной установке нагреватель и измеритель температуры совмещены в одном полупроводниковом устройстве.

Метод измерения заключается в создании одностороннего кратковременного теплового импульса на поверхности образца и регистрации изменения температуры на этой поверхности.

Данный метод основывается на решении уравнения теплопроводности для полуограниченного тела при действии на его поверхности в течение некоторого времени точечного источника тепла. Схема измерительной установки «ТЕПЛО-ТЕСТ» показана на рис. 1.

Измерительная установка состоит из:

- первичного преобразователя (зонда), предназначенного для преобразования импульса электрической энергии в тепловую, и создания электрического сигнала, характеризующего изменение температуры поверхности образца под воздействием теплового импульса;
- контроллера – для обеспечения работы зонда, первичной обработки данных, формирования теплового импульса и обеспечения связи с персональным компьютером.

На рис. 2 показан внешний вид установки и зонд с активным сенсором. Конструктивно установка оформлена в виде законченного измерительного модуля. Основные элементы размещены на общей платформе:

- контроллер;
- стойка, на которой перемещаются и фиксируются столик для образцов и измерительный зонд.



Рис. 2. Внешний вид установки и зонд с активным сенсором

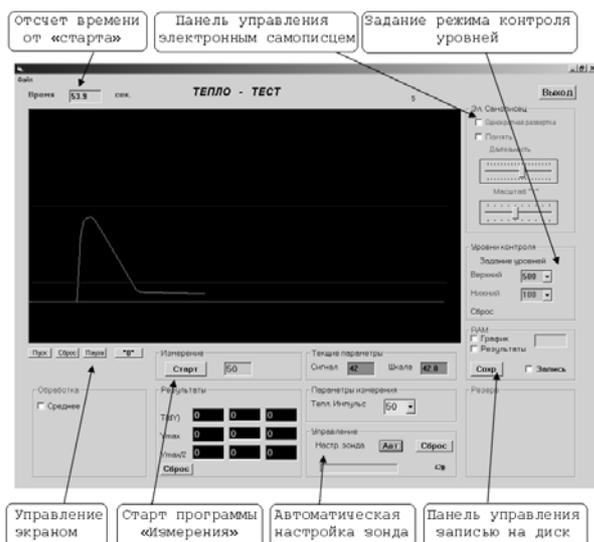


Рис. 3. Режим автоматической настройки зонда

Обмен данными контроллера и ПК осуществляется через СОМ-порт. Питание установки – через адаптер 220/5 В. На передней панели контроллера расположены индикаторы режимов работы измерительной системы. На задней панели – разъемы подключения зонда и выход СОМ-порта.

Разработанное программное обеспечение позволяет организовать работу в двух режимах: режим автоматической настройки зонда (рис. 3) и режим измерения (получения термограмм) – рис. 4.

В режиме «Измерение» данные термограммы (рис. 4) сохраняются на диск с шагом по времени 0,1 с.



Рис. 4. Режим измерения

Полученные термограммы сопоставляются с множественными решениями (для различных значений теплопроводности) уравнения теплопроводности для полуограниченного тела при действии на его поверхность точечного импульсного источника тепла заданной мощности. Из множества решений выбирается то, которое наилучшим образом совпадает с полученными экспериментальными термограммами.

На рисунке 5 представлено решение, полученное для водной пасты многослойных графеновых нанопластин (10% твердой фазы) для коэффициента теплопроводности $K = 3,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Участок от -1 с до 0 с – нагрев образца тепловым импульсом.

На рисунке 6 совмещены результаты 5-и термограмм, полученных для одного и того же образца, и расчетные значения для $K = 3,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Наблюдается близкое совпадение экспериментальных и расчетных значений.

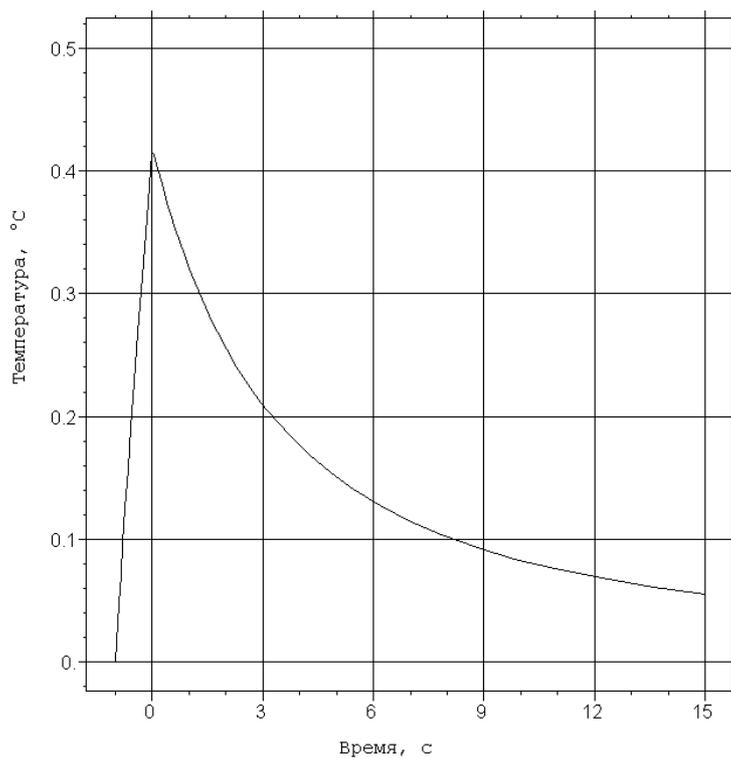


Рис. 5. Расчетная термограмма

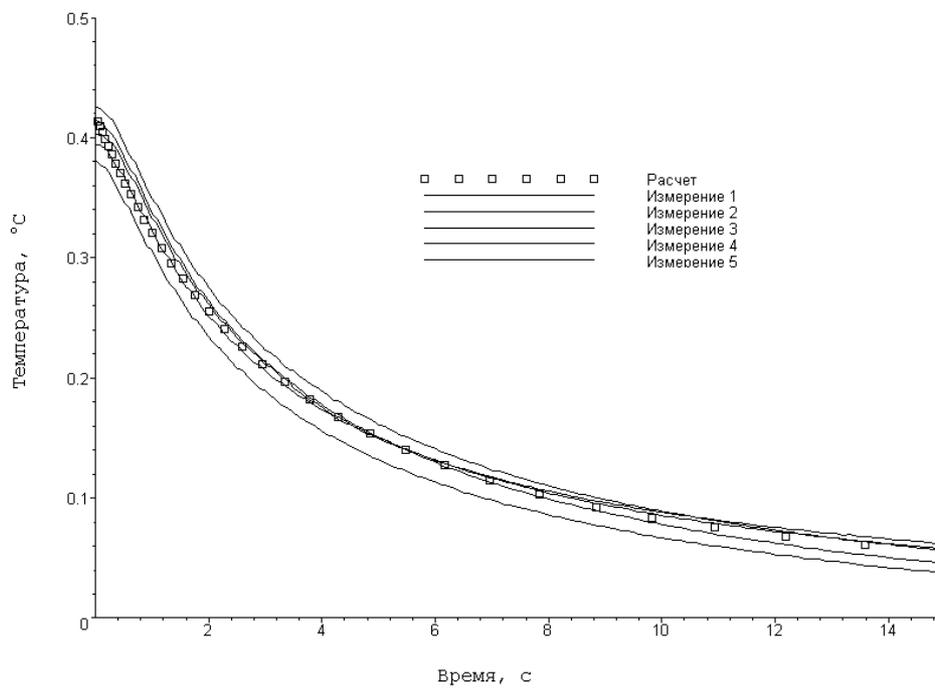


Рис. 6. Расчетная и экспериментальные термограммы

Дальнейшее совершенствование методики обработки экспериментальных данных направленно на получение аналитического решения уравнения теплопроводности для рассматриваемого случая.

При использовании адиабатической (теплоизолированной) ячейки измеритель позволяет определять теплоемкость материалов.

УДК 621.762.04
ББК 3235

Проценко И. Г., Мордасов Д. М.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ
СПЕКАНИЯ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ
ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ***

Protsenko I. G., Mordasov D. M.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE
AND TIME OF SINTERING CONDITIONS ON THE STRUCTURE
OF THE SINTERED PERMANENT MAGNETS**

Аннотация. Рассмотрена технология получения спеченных порошковых магнитов ЮНДК с высокими значениями магнитных параметров. Определены оптимальные температурные режимы и скорость нагрева спрессованных заготовок.

Ключевые слова: высококоэрцитивная структура, температурно-временной режим спекания, магнитные параметры.

Abstract. The technology of production of sintered powder YUNDK magnets with high magnetic parameters. The optimum temperatures and heating rate of pressed blanks.

Keywords: high-coercivity structure, time-temperature sintering treatment, magnetic parameters.

На современном этапе развития техники высоким спросом пользуются высококоэрцитивные магнитные материалы на основе Fe-Ni-Al-Co сплавов (ЮНДК), дополнительно легированные медью, кремнием, ниобием. Использование данных сплавов обусловлено их высоким значением остаточной индукции, по сравнению с другими магнитными материалами. Особое место в данной группе сплавов занимают постоянные магниты, изготовленные с применением технологий порошковой металлургии. Особенность металлокерамических постоянных магнитов, заключается в возможности формирования их в виде изделий сложной формы, а также поддержание высокой степени химической однородности. Помимо этого, порошковая технология позволяет ис-

* Работа выполнена в рамках программы конкурса «Гранты для поддержки прикладных исследований молодых ученых 2016 года» управления образования и науки Тамбовской области, соглашение № 19-04/МУ6-16.

ключить операцию механической обработки, что снижает механические дефекты, а также затраты на производство [1].

Однако, наряду с преимуществами, металлокерамические магниты имеют недостатки, которые снижают значение магнитных параметров. Наиболее существенное влияние на свойства оказывают пористость, а также неметаллические соединения [2].

Для увеличения плотности металлокерамических постоянных магнитов применяются технологии двойного и изостатического прессования, а также обжата в пресс-форме [3]. Однако, несмотря на то, что данные технологические приемы позволяют повысить значение магнитных параметров до уровня литых аналогов, существенным недостатком данной группы методов является сложное и дорогостоящее оборудование.

Другим способом повышения значения магнитных параметров постоянных магнитов является разработка режимов спекания, позволяющих сформировать оптимальную структуру материала и исключить вредное влияние неметаллических соединений, а также снизить пористость изделия.

Известно [4], что после спекания порошковых постоянных магнитов, значение магнитных параметров сплавов типа ЮНДК, формируются благодаря образованию двухфазной структуры. Она состоит из мелкодисперсных частиц ферромагнитной α' -фазы, изолированной, в магнитном смысле, парамагнитной матрицей, α -фазой. Данная структура магнитного материала образуется в результате последовательного протекания процессов спекания и последующей термомагнитной обработки. Однако, при нарушении технологических режимов, в частности режимов спекания и последующего охлаждения, в структуре материала происходит формирование паразитной γ -фазы, обогащенной карбидами, которая оказывает существенное влияние на магнитные свойства, обусловленное формированием парамагнитных включений по границам зерен высококоэрцитивной фазы.

Нами исследованы температурно-временные режимы спекания металлокерамических постоянных магнитов ЮНДК, позволяющие сформировать оптимальную магнитную структуру, обеспечивающей высокое значение остаточной индукции и коэрцитивной силы.

Процесс спекания изделий, изготовленных из поликомпонентной шихты карбонильных и электролитических порошков металлов, осуществлялся в вакуумной печи СШВ 2.2,5/25И1. Для обеспечения оптимальной структуры магнитного материала первоначально были исследованы режимы спекания изделий из карбонильных порошков металлов. На рисунке 1 представлена температурно-временная кривая спекания.

Как видно из представленной зависимости продолжительность процесса спекания составляет 26 ч и содержит 5 характеристических участков различной длительности. Интервал температур 20...600 °С (участок 1) характеризуется скоростью нагрева 50°/час, что объясняется необходимостью более полного протекания процесса удаления продуктов распада органического пластификатора, а также очистки компонентов шихты от характерных для карбонильных порошков примесей (углерода, азота, кислорода). Помимо этого, малая скорость нагрева необходима для поддержания постоянного значения вакуума в рабочем объеме при протекании процесса спекания.

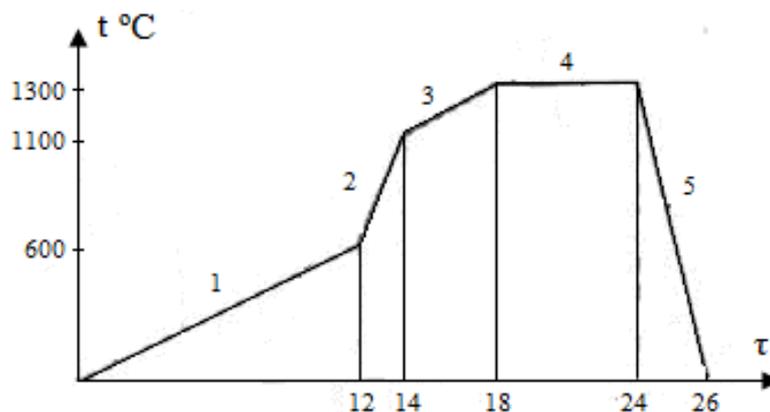


Рис. 1. Температурно-временная кривая спекания прессовок из карбонильных порошков металлов

При повторном нагреве в этом интервале температур, даже с повышенным значением скорости нагрева до $300\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ ухудшение вакуума не наблюдается, что может свидетельствовать об удалении значительного количества газообразующих продуктов, но не является доказательством удаления вредных примесей, образующих паразитную фазу.

При $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ удаление органической связки завершается и начинается процесс установление металлического контакта между частицами металлического порошка. При нагреве до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдается старт механизма поверхностной диффузии, характерного для спекания в присутствии жидкой фазы.

В интервале температур $600\text{...}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, где процесс жидкофазного спекания прессовок протекает наиболее интенсивно, нагрев осуществлялся со скоростью $250\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ (участок 2) в течении двух часов. Со значения температуры $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (участок 3) скорость нагрева уменьшается до значения $50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, с целью избежать возможного оплавления, обусловленное дисперсностью исходных порошков металлов, а также исключения концентрации термических напряжений, способствующих образованию дефектов структуры.

При температуре $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (участок 4) была осуществлена выдержка длительностью 6 ч, достаточная для формирования однофазной структуры. Охлаждение после выдержки (участок 5) проводится с печью, обеспечивающей охлаждение с оптимальной скоростью для данного типа материалов.

Структуры материала, спеченного по данному представлена на рис. 2, а.

Структура материала представляет собой неоднородный твердый раствор, состоящий из двух разнородных фаз. Так структура включает в свой состав темные участки повышенной травимости γ -фазы (2) с мелкими включениями и светлые зерна с малой травимостью α -фазы (1), окруженные крупными полями повышенной травимости. Площадь нетравящейся составляющей гораздо меньше, однако расположение ее таково, что она является как бы матрицей и определяет механические свойства изделия.

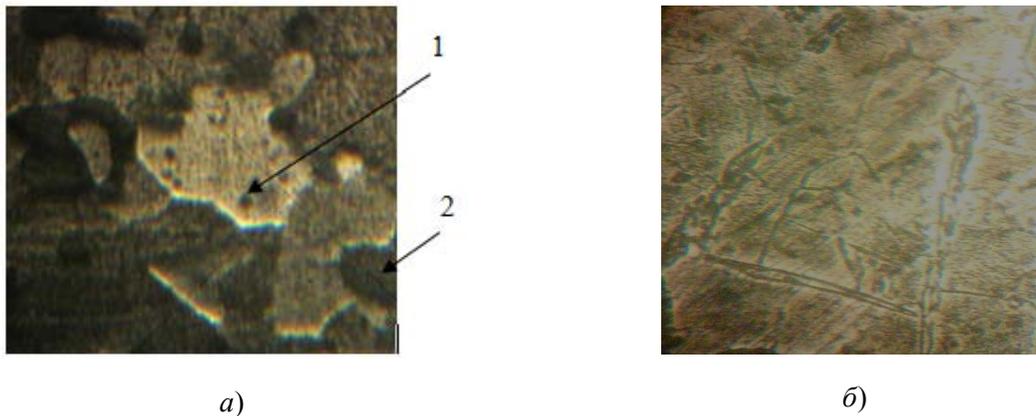


Рис. 2. Микроструктура материала:

а – микроструктура порошкового магнитного, изготовленного из карбонильных порошков металлов;

б – микроструктура образцов из электролитических порошков металлов после спекания

Проанализировав результаты изменения структуры в процессе спекания можно сделать следующий вывод. Основная причина неоднородности строения структуры порошковых постоянных магнитов, изготовленных из карбонильных порошков металлов, является недостаточное время выдержки в диапазоне температур 200...400 °С и связанное с этим повышенное содержание углерода, которое увеличивает критическую скорость охлаждения при протекании процесса первого превращения, снижает температуру плавления, расширяет температурный интервал существования двухфазной $\lambda + \gamma$ -структуры. Попытка повышения температуры спекания до 1320...1350 °С привела к оплавлению прессованных изделий даже при очень медленной скорости нагрева, что также косвенно подтверждает повышенное содержание углерода.

При спекании прессовок металлокерамических магнитов, изготовленных из электролитических порошков металлов, учитывалось, что они содержат малое количество углерода, и для их прессования не требуется органическая связка. Таким образом, использование больших временных интервалов в низкотемпературной области не является необходимым.

При спекании электролитических порошковых композитов, по приведенным ранее режимам, микроструктура магнитного материала оставалась практически неизменной (рис. 2, б).

Основой структуры является слабо травящаяся структурная составляющая с выделяющимися в ней границами зерен. На границах зерен имеются отдельные включения сильно травимой составляющей, не соединенной в единую сетку. Микроструктура (рис. 2, б) существенно отличается от структуры образцов, изготовленных из карбонильных порошков. В данном случае светлая матрица является двухфазной структурой, состоящей из $\lambda + \lambda'$ -фаз, темные включения, результаты выделения γ -фазы в процессе охлаждения с печью и последующего полиморфного превращения $\gamma \rightarrow \lambda_\gamma$ в районе 800 °С.

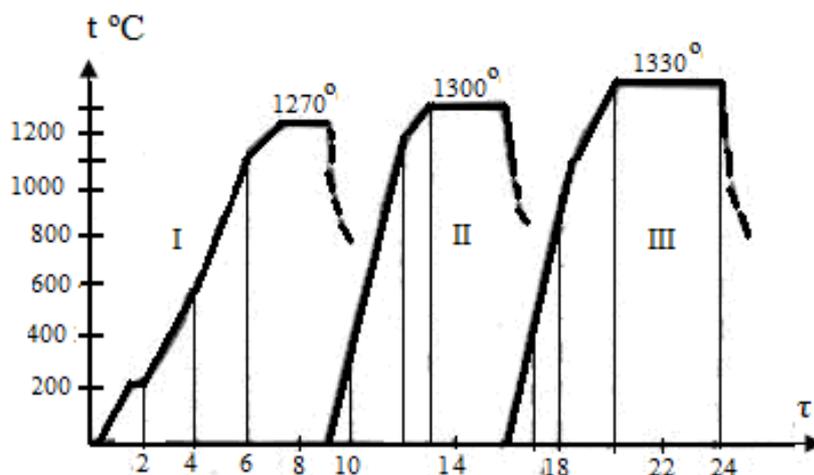


Рис. 3. Температурно-временная схема спекания изделий из электролитических порошков:

I – первый нагрев; II – второй нагрев; III – третий нагрев

С целью разработки оптимального температурно-временного процесса спекания был проведен анализ ступенчатого режимов спекания изделий из электролитических порошков металлов с возможно минимальным временем нагрева, температурой спекания и временем выдержки (рис. 3).

В процессе исследования режимов спекания электролитических порошков металлов, были соблюдены все этапы, используемые для карбонильных порошков металлов, однако с учетом исключения операции выжигания органической связки, была уменьшена выдержка в низкотемпературном интервале (40 мин, при 200 °С), максимальная температура нагрева составила 1240 °С. После охлаждения с печью и извлечением части образцов, был произведен повторный нагрев со скоростью 500 °/час, с повышением температуры выдержки до 1270 °С, а при третьем нагреве до температуры 1330 °С с четырех часовой выдержкой. Общая продолжительность выдержки при температуре спекания составила 8 ч. Образцы после каждого цикла спекания подвергались измерению усадки, пористости, а также анализу микроструктуры.

Результаты анализа морфологии материала позволяют сделать вывод о том, что для обеспечения оптимальной морфологии магнитного материала, способствующей формированию двухфазной высококоэрцитивной структуры необходимо осуществить следующий режим спекания поликомпонентной шихты, состоящей из электролитических порошков металлов. Так нагрев до температуры спекания 1330 °С необходимо осуществлять в течение 4 ч с выдержкой 6 ч при данной температуре и последующим охлаждением с печью. Таким образом, в процессе спекания электролитических порошков металлов формируется оптимальная структура материала, обеспечивающая в ходе обработки в магнитном поле оптимальные магнитные свойства металлокерамических магнитов.

Список использованных источников

1. Проценко, И. Г. Использование сканирующей зондовой микроскопии для изучения структуры и свойств постоянных магнитов / И. Г. Проценко, А. П. Королев, И. С. Филатов // Вестник ТГТУ, 2015. – Т. 21, N 4. – С. 701 – 707.

2. Проценко, И. Г. Влияние режимов спекания на формирование высококоэрцитивного состояния порошковых магнитов типа ЮНДК / И. Г. Проценко, Д. М. Мордасов // Шестидесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20 апреля 2016 г., Ярославль : сб. материалов конф. – Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2016. – С. 784 – 788.

3. Довголевский, Я. М. Легирование и термическая обработка магнитотвердых сплавов / Я. М. Довголевский. – М. : Metallurgy, 1971. – 176 с.

4. Проценко, И. Г. Изучение режимов термомагнитной обработки и их воздействия на магнитные свойства металлокерамических магнитов / И. Г. Проценко, Д. М. Мордасов // Шестидесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20 апреля 2016 г., Ярославль: сб. материалов конф. – Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2016. – С. 788 – 782.

References

1. Protsenko, I. G. Using scanning probe microscopy to study the structure and properties of permanent magnets / I. G. Protsenko, A. P. Korolev, I. S. Filatov // Herald TSTU. – 2015. – V. 21, N 4. – P. 701 – 707.

2. Protsenko, I. G. Influence of sintering conditions on the formation on the formation of the high status of magnet powder type YuNDK / I. G. Protsenko, D. M. Mordasov // Sixty-ninth All-Russia scientific-technical conference of students, undergraduates and graduate students of higher educational institutions with international participation. April 20, 2016. – Yaroslavl : sb. materialov Conf. – Yaroslavl : Izdat. House YAGTU, 2016. – P. 784 – 788.

3. Dovgolevsky, Y. M. The alloying and heat treatment of magnetic alloys. – M. : Metallurgy, 1971. – 176.

4. Protsenko, I. G. The study of magnetic annealing conditions and their effects on the magnetic properties of the sintered magnets / I. G. Protsenko, D. M. Mordasov // Sixty-ninth All-Russia scientific-technical conference of students, undergraduates and graduate students of higher educational institutions with international participation. April 20, 2016, Yaroslavl : sb. materialov Conf. – Yaroslavl : Izdat. House YAGTU, 2016. – P. 788 – 782.

Дивин А. Г., Мищенко С. В., Родионова А. С., Бирюкова Е. С.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕФРАКТОМЕТРА ТИПА РПЛ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Divin A. G., Mishchenko S. V., Rodionova A. S., Biryukova E. S.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

AUTOMATION REFRACTOMETER OF THE TYPE OFRPL ON THE BASIS OF APPLICATION OF TECHNICAL VISION

Аннотация. В последнее время на производстве широко используются информационные технологии для автоматизации, сбора и обработки данных, в том числе, получаемых экспериментально с применением средств измерения и контроля.

В работе предложена автоматизация рефрактометра типа РПЛ на основе применения технического зрения с помощью специально подобранной интеллектуальной камеры NI 1712 SmartCamera, был рассмотрен метод рефрактометрии и его применение, изучен метод проектирования в среде разработки программ LabVIEW, освоен модуль технического зрения NI VISION ASSISTANT. В ходе работы удалось разработать систему автоматизации рефрактометра типа РПЛ.

Модернизация прибора позволит улучшить метрологические характеристики прибора, что, безусловно, снизит вероятность возникновения субъективных погрешностей.

Ключевые слова: автоматизация, рефрактометр, концентрация, техническое зрение.

Abstract. In recent years the production of widely used information technology for automating, collecting and processing data, including those obtained experimentally with the use of measuring devices and control.

Proposed automation of the Refractometer of the type of RPL based on the application of computer vision using specially selected smart camera NI 1712 Smart Camera, we have described the method of refractometry and its application, studied the design method in the development environment LabVIEW, assimilated module vision NI VISION ASSISTANT. In the course of work managed to develop a system of automated Refractometer of the type of RPL.

Modernization of the device will allow to improve metrological characteristics of the device that will certainly reduce the likelihood of subjective errors.

Keywords: automation, refractometer, concentration, vision.

На предприятиях г. Тамбова и Тамбовской области широко используются хорошо зарекомендовавшие себя прецизионные рефрактометры типа РПЛ. Эксплуатация прибора требует участия оператора в определении и обработке измерительной информации. В связи с этим, а также в связи с развитием информационных технологий, элек-

тронного документооборота, автоматизацией всех видов испытаний и контроля использование прибора становится неэффективным.

В то же время есть возможности для модернизации этого прибора, что позволит существенно улучшить метрологические характеристики прибора.

Поставленная цель автоматизации рефрактометра типа РПЛ раскрывается через следующие задачи:

1. Изучение метода рефрактометрии и его применение;
2. Модернизация рефрактометра типа РПЛ с помощью камеры NI 1712 SmartCamera;
3. Разработка программы для работы с модернизированным рефрактометром типа РПЛ.

Метод рефрактометрии и его применение. Рефрактометрией называется раздел прикладной оптики, в котором рассматриваются методы измерения показателя преломления света n при переходе из одной среды в другую, или, иными словами, показатель преломления n – это отношение скоростей света в граничащих средах.

Основная задача рефрактометрического анализа заключается в определении показателя преломления света при переходе его из одной среды в другую. При помощи метода рефрактометрии, можно установить строение молекулы. Оптические приборы, измеряющие показатель преломления, называются рефрактометрами [1].

Преломление света, вызвано разной скоростью распространения света в разных средах. При этом отношение синуса угла падения луча α к синусу угла преломления β для двух соприкасающихся сред есть величина постоянная, которая называется показателем преломления n . Показатель преломления (формула 1) также равен отношению скоростей распространения света в этих средах:

$$N = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)}. \quad (1)$$

На основе явления рефрактометрии основаны приборы рефрактометры. Рефрактометры применяются в анализе химических веществ. В свою очередь рефрактометр используется для определения видов соединений, их структурного анализа, параметров, концентрации содержащихся в них веществ. Этот прибор нашел применение в различных научно – исследовательских разработках. Также они широко применяются во многих отраслях промышленности [2].

Рефрактометры применяются при производстве сахара и продуктов, содержащих сахар, при производстве безалкогольных напитков, а также для анализа винного сусла, молока и молочных изделий. С помощью рефрактометра определяют плотность паст, сиропов, пюре, джемов и так далее.

Существуют несколько видов и модификаций рефрактометров. Разные модели приспособлены для работы в разных условиях [3].

Модернизация рефрактометра типа РПЛ. С помощью модуля технического зрения NI VISION ASSISTANT и камеры NI 1712 SmartCamera составим автоматизированную установку рефрактометра типа РПЛ. Подобранный NI 1712 SmartCamera существенно упрощает машинное зрение, анализирует изображения непосредственно на камере с мощным, производительным встроенным процессором, способным к управлению всем набором алгоритмов видения NI. Такие камеры можно использовать в различных областях, включая обнаружения дефектов, чтение штрих-кода, сборки и проверки [4].

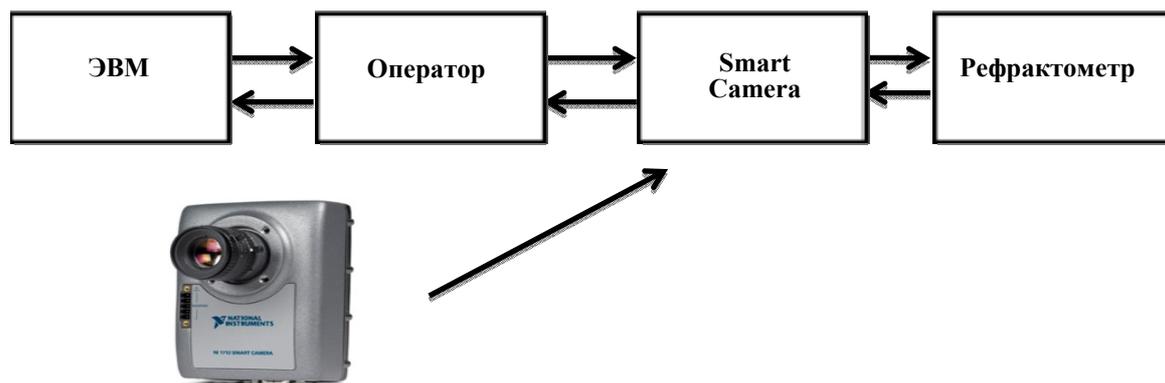


Рис. 1. Структурная схема установки

Структурная схема установки представлена на рис. 1

На структурной схеме (рис. 1) отображен принцип работы системы, где от оператора поступает входящий сигнал на ЭВМ, после обработки команды из ЭВМ поступает сигнал на цифровую камеру, которая фиксирует информацию об объекте измерения и отправляет полученную информацию на ЭВМ. После обработки, ЭВМ выдает запрашиваемую информацию оператору.

Разработка применяемой программы на ЭВМ. Полученная информация от цифровой камеры загружается в модуль технического зрения NI VISION ASSISTANT. Модуль содержит ряд функций, позволяющих настроить изображение для дальнейшей работы. Необходимо выбрать линию профиля, чтобы узнать распределение яркости пикселей вдоль этой линии.

В программе обработки изображения, получаемого с видеокамеры, формируются массивы номеров пикселей и их яркости. Далее формируется массив производных

$k_i = \frac{\partial E_i}{\partial x_i}$ ($i = 0...n$) из n элементов исходного массива. Опытным путем, было установлено оптимальное значение размерности массива производных $n = 20$. Производная определялась путем аппроксимации исходного массива яркости E_i от номера пикселя зависимостью $E_i = k_i x + b$. Таким образом, исходный массив разбивался на массивы из 20 элементов и для каждого из них, определялось значение производной k_i , которое затем, вставлялось в новый массив. В полученном массиве определялось минимальное значение производной, номер пикселя, соответствующего границе резкого уменьшения яркости и, соответственно, границе светотени.

После этого, определяются показания рефрактометра в условных единицах и концентрация сухих веществ в растворе с использованием аппроксимационных зависимостей, полученным по справочным данным.

Получаем уравнение:

$$y = \frac{4,31 \cdot x - 1,4}{13}. \quad (2)$$

Применив уравнение (2) в программе, получаем искомую концентрацию сухих веществ в растворе в процентах.

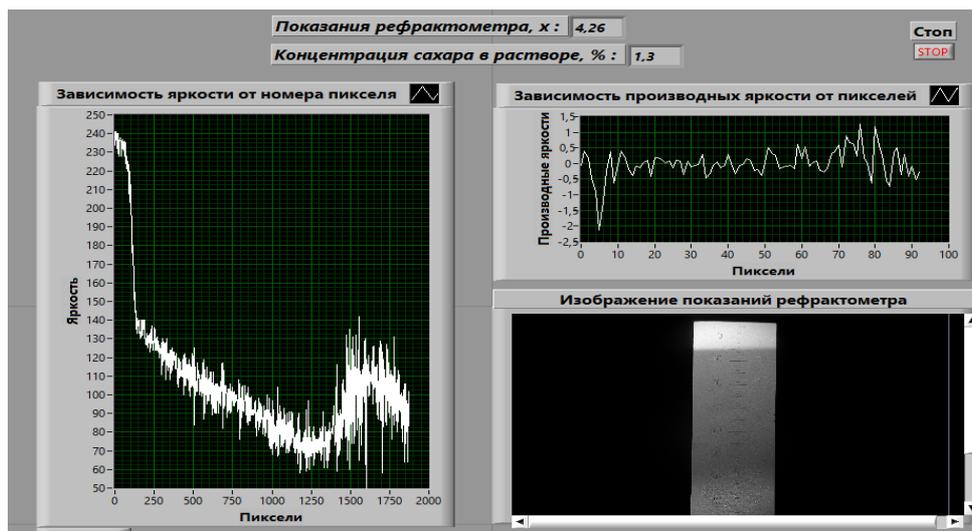


Рис. 2. Лицевая панель программы

Лицевая панель программы представлена на рис. 2.

В ходе работы удалось разработать систему автоматизации рефрактометра типа РПЛ. Модернизация прибора позволит освободить оператора от ряда измерительных операций и обработки экспериментальных данных, что, безусловно, снизит вероятность возникновения субъективных погрешностей.

Предложенный метод получения концентрации сухих веществ в растворах позволяет значительно ускорить ход рабочего процесса, сокращая число необработанных во время данных, и снизить временные затраты.

Список использованных источников

1. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф.– 2-е изд. – М. : Изд-во Наука, 1973. – 721 с.
2. Бутиков, Е. И. Физика для углубленного изучения. Электродинамика. Оптика / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. – М. : Изд-во Физматлит, 1974. – Т. 2. – 336 с.
3. Дивин, А. Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля. Ч. 1. / А. Г. Дивин, С. В. Пономарев – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ 2011. – 101 с.
4. Сайт National Instruments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russia.ni.com>, свободный. – Загл. с экрана.

References

1. Born, M. Principles of optics / M. Born, E. Wolf. – 2nd ed. – M. : Publishing Nauka, 1973. – 721 p.
2. Boutiques, E. I. Physics for advanced study. Electrodynamics. Optics / E. I. Boutiques, A. S. Kondratyev. – M. : Publishing house Fizmatlit, 1974. – V. 2. – 336 p.
3. Divin, A. G. Methods and tools for measuring, testing and control. – Part 1 / A. G. Divin, S. V. Ponomarev. – Tambov : Publishing house GOU VPO TGTU, 2011. – 101 p.
4. The website of the national instruments [Electronic resource] – Mode of access: <http://russia.ni.com>, a free. – Tit. screen.

УДК 681.518.3:536.212.3
ББК я965.06+Н307

Хоан Т. А., Селиванова З. М.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Hoang T. A., Selivanova Z. M.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

THE INTELLIGENT INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING OF CONSTRUCTION MATERIALS

Аннотация. Разработана интеллектуальная информационно-измерительная система экологического мониторинга строительных материалов на основе созданной концептуальной модели системы, решения задачи классификации исследуемых материалов, выбора метода экологического контроля.

Ключевые слова: интеллектуальная информационно-измерительная система, концептуальная модель, экологический мониторинг, строительный материал.

Abstract. Proposing the intelligent information-measuring system of ecological monitoring of construction materials based on the system's conceptual model, the solution of classification materials and the choice of method of ecological control.

Keywords: intelligent information-measuring system, conceptual model, ecological monitoring, construction material.

В настоящее время проблема охраны окружающей среды является важнейшей и требует непрерывного развития и совершенствования методов и средств экологического контроля. Актуальная задача при создании чистой экологической среды при нахождении человека в помещении – это применение экологически чистых материалов при строительстве жилых и производственных зданий. Основным направлением решения поставленной задачи является использование чистых технологий при производстве строительных материалов и экологический мониторинг продукции.

Предлагается интеллектуальная информационно-измерительная система экологического мониторинга строительных материалов (ИИИС ЭМСМ), оказывающих негативное влияние на окружающую среду. Разработка ИИИС ЭМПЭ основывается на методологическом базисе ИИИС, функционирующей в условиях неопределенности и рисков и использующей различные виды информации: нечеткую, неполную и неточную, которая представлена в базе данных и знаний системы. Интеллектуальная информационно-измерительная система экологического мониторинга представляет собой распре-

деленную систему контроля экологически важных параметров СМ, включающую подсистемы обработки и анализа полученной информации об объекте контроля.

В предварительной стадии процесса мониторинга экологических объектов – СМ, решаются задачи: классификация объектов контроля с учетом экологических свойств СМ [1]; создание концептуальной модели разработки ИИИС ЭМСМ; выбор целесообразного метода экологического контроля параметров СМ из разработанных и представленных в базе знаний ИИИС ЭМСМ; оценка параметров и свойств СМ на основе поступающей информации в процессе мониторинга на соответствие требованиям и нормам ГОСТа для контролируемого СМ с использованием встроенной в ИИИС подсистемы допускового контроля [2]; формирование управляющих воздействий для коррекции режимных параметров технологического процесса изготовления СМ; создание структуры ИИИС ЭМСМ.

Рассмотрены виды строительных материалов: экологичные – дерево, камень, пробка, каучук, войлок, хлопок, натуральная кожа; условно экологичные – кирпич, плитка, черепица, пенобетонные блоки, алюминий; неэкологичные – пенопласт, теплоизоляционные плиты, линолеум, виниловые обои, бетон, железобетон.

Неэкологичные материалы имеют следующие негативные свойства: пенопласт выделяет токсическое вещество стирол; теплоизоляционные плиты включают токсические вещества – изоцианты; линолеум и виниловые обои ответственны за содержание в воздухе тяжелых металлов; бетон имеет высокую плотность и прочность, поэтому плохо пропускает воздух, что способствует усилению электромагнитных волн; железобетон в дополнение к перечисленным свойствам бетона экранирует электромагнитные излучения. Рассматриваются два вида экологических свойств СМ: радиационно-экологические (эффективная удельная активность ЕРН и эманулирующая способность материала, т.е. выделение эманации (радона, торона, актинона) из твердых веществ, содержащих изотопы радия) и эколого-гигиенические (токсичность и канцерогенность). Естественные радионуклиды (ЕРН) – радиоактивные нуклиды, содержащиеся в СМ: радий, торий, калий [1].

Постановка задачи классификации строительных материалов. Априорная информация об исследуемых материалах представлена в виде матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} q_{11}^{(d_1)}, & q_{12}^{(d_2)}, & \dots, & q_{1m}^{(d_m)} \\ q_{21}^{(d_1)}, & q_{22}^{(d_2)}, & \dots, & q_{2m}^{(d_m)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_N^{(d_1)}, & q_N^{(d_2)}, & \dots, & q_N^{(d_m)} \end{pmatrix},$$

где N – число СМ; q_i – ($i = 1, \dots, N$) параметр СМ; d_i – ($i = 1, \dots, m$) диапазоны m параметров СМ. Для представленного множества СМ

$$A = \{O_i, i = 1, \dots, N\},$$

где $O_i = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{im})$, а также числа классов СМ k и интервалов значений параметров СМ по k -классам, $[q_{ls}^H, q_{ls}^B]$, $l = 1, \dots, m$, $s = 1, \dots, k$, требуется закрепить ИМ $O_i \in A$ за определенным классом K_1, K_2, \dots, K_k .

Алгоритм решения задачи классификации включает следующие этапы:

- а) эксперт определяет k СМ – основных представителей классов O_1, O_2, \dots, O_k ;
- б) определяются пороговые значения взвешенного евклидова расстояния для каж-

дого класса: $d_{\text{пор}}^s = \sqrt{\sum_{l=1}^m v_{ls} (q_{ls}^B - q_{ls}^H)^2}$; $v_{ls} = \left(\frac{q_{ls}^B - q_{ls}^H}{2} \right)^{-2}$; $s = 1, \dots, k$;

в) если взвешенное евклидово расстояние не более $d_{\text{пор}}^s$, то СМ принадлежит к определенному классу, т.е. если $d(O_i, O_s) = \sqrt{\sum_{l=1}^m v_{ls} (q_{li} - \bar{q}_{ls})^2} \leq d_{\text{пор}}^s$, то $O_i \in K_s$;

г) если $\forall s \in \{1, 2, \dots, k\}: d(O_i, O_s) > d_{\text{пор}}^s$, то создается новый класс с $O_{k+1} = O_i$;

д) выполняется построение функции принадлежности нечетких множеств по признакам и классам, т.е. $\mu_{l,s}$, $l = 1, \dots, m$, $s = 1, \dots, k$.

Концептуальная модель проектирования ИИИС ЭМСМ. Для решения поставленных задач при разработке ИИИС ЭМСМ приводится описание предметной области исследования, возможных измерительных и информационных ситуаций при экологическом мониторинге СМ на концептуальном уровне. Разработанная концептуальная модель проектирования ИИИС ЭМСМ приведена на рис. 1.

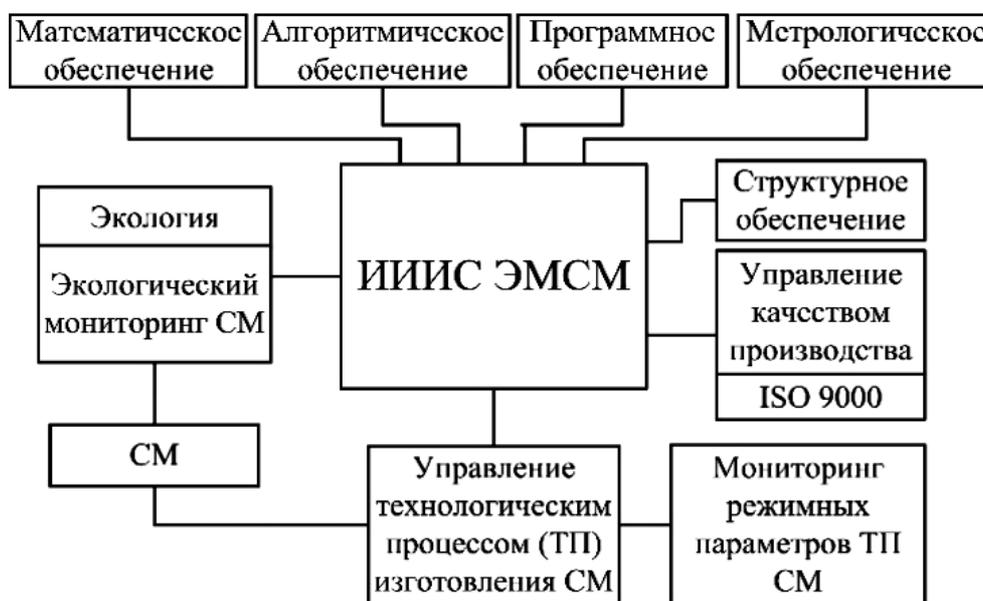


Рис. 1. Концептуальная модель проектирования ИИИС ЭМСМ

Постановка задач выбора метода контроля экологических параметров СМ. Задаются:

- множество сведений о экологических параметрах (ЭП) СМ

$$V_{\text{ЭП}} = \{V_S^{\text{ЭП}}, s = 1, \dots, k\}; \quad (1)$$

– множество требований к геометрическим размерам СМ

$$V_{\text{ТР}} = \{V_{\text{Н}}^{\text{ТР}}, V_{\text{М}}^{\text{ТР}}, V_{\text{Ф}}^{\text{ТР}}\}, \quad (2)$$

где $V_{\text{Н}}^{\text{ТР}}$ – нормальные размеры ИМ; $V_{\text{М}}^{\text{ТР}}$ – малые размеры ИМ; $V_{\text{Ф}}^{\text{ТР}}$ – форма ИМ;

– множество сведений о дестабилизирующих факторах

$$V_{\text{ДФ}} = \{V_{\text{Н}}^{\text{ДФ}}, V_{\text{СР}}^{\text{ДФ}}, V_{\text{В}}^{\text{ДФ}}\}, \quad (3)$$

где $V_{\text{Н}}^{\text{ДФ}}$ – низкий уровень ДФ; $V_{\text{СР}}^{\text{ДФ}}$ – средний уровень ДФ; $V_{\text{В}}^{\text{ДФ}}$ – высокий уровень ДФ;

– множество уровней определенности (достоверности) информации о СМ

$$V_{\text{ОПР}} = \{V_{\text{ДЕТ}}, V_{\text{НЕОПР}}, V_{\text{НЕЧ}}\}, \quad (4)$$

здесь $V_{\text{ДЕТ}}$ – детерминированная информация; $V_{\text{НЕОПР}}$ – неопределенная информация,

$V_{\text{НЕЧ}}$ – нечеткая информация;

– множество методов, которые могут быть использованы ИИИС ЭМСМ

$$V_{\text{М}} = \{V_i^{\text{М}}, i = 1, \dots, k\}, \quad (5)$$

здесь M_i – i -й метод контроля (МК).

На основе множеств данных (1) – (4) требуется определить метод контроля $M_{M_i} \in V_{\text{М}}$, соответствующий этим данным. Представленная задача включает частные задачи: создание множества измерительных ситуаций \mathbf{H} , разработка модели «измерительная ситуация – метод контроля» (ИС – МК), идентификация измерительной ситуации и выбор метода контроля. Первые две задачи решаются при создании базы знаний ИИИС, две вторые – перед началом проведения измерений. Множество \mathbf{H} создается с использованием декартова произведения множеств (1) – (4):

$$\mathbf{H} = V_{\text{СВ}} \times V_{\text{ТР}} \times V_{\text{ДФ}} \times V_{\text{ОПР}} = \{h_{i,j,n,m}, i = \overline{1, k}; j \in \{\text{н, м, ф}\}, n \in \{\text{н, ср, в}\}, m \in \{\text{дет, неопр, неч}\}\} \quad (6)$$

Элементы $h_{i,j,n,m}$ множества \mathbf{H} – это измерительные ситуации, задаваемые кортежами длины четыре

$$h_{i,j,n,m} = \langle V_i^{\text{СВ}} \times V_j^{\text{ТР}} \times V_n^{\text{ДФ}} \times V_m^{\text{ОПР}} \rangle. \quad (7)$$

Построение модели ИС – МК предполагает выделение в множестве \mathbf{H} k подмножеств $H_i, i = \overline{1, k}$ таких, что для них выполняются условия:

– пересечение любой пары подмножеств $H_i \subset \mathbf{H}, H_j \subset \mathbf{H}$ есть пустое множество, т.е.

$$H_i \cap H_j = \emptyset, i, j = \overline{1, k}, i \neq j; \quad (8)$$

– любая измерительная ситуация $h_{i,j,n,m}$ является элементом одного из подмножеств

$$H_i, i = \overline{1, k}, \text{ т.е. } \bigcap_{i=1}^k H_i = \mathbf{H} \quad (9)$$

– для каждого подмножества H_i целесообразно использовать один конкретный метод контроля V_i^M .

В результате такого разделения множества \mathbf{H} разрабатывается модель ИС – МК в форме системы процедурных правил:

если $h_{i,j,n,m} \in H_1$, то использовать метод контроля V_1^M ,
 (10)

если $h_{i,j,n,m} \in H_k$, то использовать метод контроля V_k^M .

Разработанные модели и решаемые задачи при математическом обеспечении ИИ-ИС ЭМСМ определяют архитектуру ИИИС для контроля определенного вида экологических параметров СМ. Структура ИИИС ЭМСМ характеризуется универсальностью в результате применения модульной структуры ИИИС, где каждый модуль структуры формируется в результате интеллектуальной процедуры изменения конфигурации типовой структуры ИИИС. Типовая структура ИИИС ЭМ включает следующие компоненты: базу знаний, содержащую информацию о методах измерения экологических параметров СМ, моделях СМ, измерительных процедурах, аппроксимирующих зависимости для коррекции результатов измерения при влиянии внешних факторов; измерительно-вычислительное устройство на базе микроконтроллера; подсистему измерительных устройств, содержащую датчики контроля экологических параметров для соответствующей структуры ИИИС ЭМСМ. На основе концептуальной модели ИИИС ЭМСМ создана структура ИИИС ЭМСМ, представленная на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема ИИИС ЭМСМ

Разработан алгоритм оценки экологических параметров строительных материалов, реализованный в созданной ИИИС ЭМСМ, содержащий перечень контролируемых экологических параметров исследуемых СМ, допустимые диапазоны их нормируемых значений, указанные в соответствующих ГОСТах.

Применение созданной системы экологического мониторинга строительных материалов позволит повысить точность экологического контроля параметров СМ и улучшить экологические свойства изготавливаемых СМ.

Список использованных источников

1. ГОСТ 30108–94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. Введ. 1995-01-01. –М. : Изд-во стандартов, 1995. – 11 с.
2. Стасенко, К. С. Метод и интеллектуальная информационно-измерительная система для повышения точности допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов / К. С. Стасенко, З. М. Селиванова // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – Тамбов, 2015. – Т. 21, – № 1. – С. 42 – 49.

References

1. GOST 30108–94. Construction materials and products. Determination of specific effective activity of natural radionuclides. Intro. 1995-01-01. – Izdatelstvo standartov, 1995. – 11 p.
2. Stasenko, K. S. Method and intellectual information-measuring system for improving the accuracy of tolerance control the thermal conductivity of heat-insulating materials / K. S. Stasenko, Z. M. Selivanova // Vestnik TSTU. – Tambov, 2015. –V. 21. – N 1. – P. 42 – 49.

Тимонина Е. Г., Спицын Н. А., Гриднева Т. С., Пеняскина И. И.,
Прилипухов В. В., Коробова А. О., Дивин А. Г.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Timonina E. G., Spitsun N. A., Gridneva T. S., Penjaskina I. I.,
Prilipuhov V. V., Korobova A. O., Divin A. G.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

METHODS AND TOOLS FOR DYNAMIC WEIGHING

Аннотация. Нами представлен краткий обзор выпускаемых конвейерных весов, для различных отраслей производства. Данный класс оборудования предназначен для контроля веса продукции, движущейся по конвейеру, и автоматической отбраковке упаковок с отклоняющимся от заданного веса.

Ключевые слова: масса, конвейерные весы, взвешивание.

Abstract. We present a brief overview of the manufactured belt scales for various industries. This class of equipment is intended for weight control products moving on a conveyor, and automatic rejection of packages with deviating from the desired weight.

Keywords: weight, conveyor scales, weighing.

Взвешивание и контроль расхода материала на ленте конвейера – одна из самых распространенных задач в автоматизации технологического процесса. Системы динамического взвешивания (конвейерные весы, чеквейер – от англ. Checkweigher) используются для непрерывного измерения массы любых сыпучих или кусковых материалов, транспортируемых ленточными конвейерами.

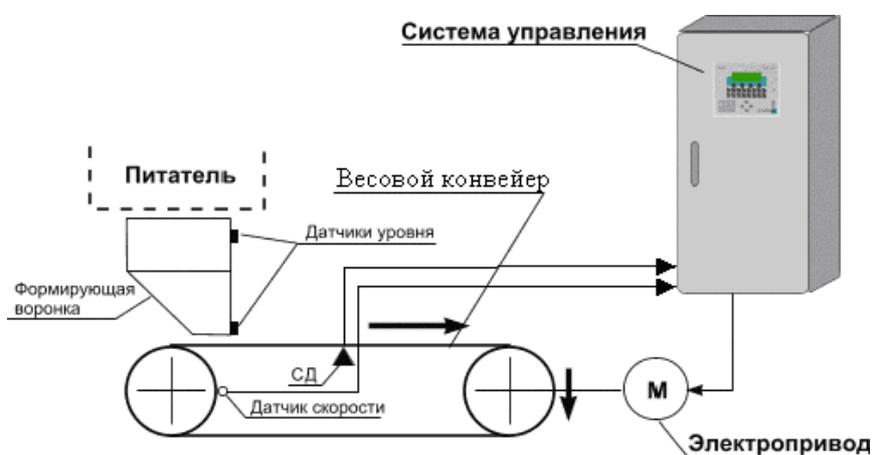


Рис. 1. Пример весового конвейера

Движущаяся по конвейеру продукция поступает на участок ленты, под которым установлены весовые тензодатчики. Количество и тип датчиков зависит от габаритных размеров продукции, ее массы и необходимой точности измерения. Сигнал от датчиков передается в систему управления, где он обрабатывается, фиксируется и запускает дальнейший алгоритм работы.

1. *Весы конвейерные электронные ВКЭ (Новосибирск).*

Применяются для взвешивания угля, руды, щебня, песка, цемента, клинкера, удобрений, химикатов и других материалов в различных отраслях промышленности. Основными особенностями является:

- встраивание как в прямые, так и в желобчатые конвейеры;
- возможность изготовления весов в пылевлагозащищенном исполнении с расширенным температурным диапазоном для работы в условиях повышенной влажности, запыленности или при экстремальных температурах;
- допускается установка в конвейеры с углом наклона до 20°;
- широкие возможности по встройке в производственные и технологические линии;
- возможность удаленного размещения пульта управления;
- наличие сертификата взрывобезопасности 0ExiaIICT6X также указывает на повышенную надежность конструкции.

2. *Чеквейеры Меттлер Толедо Garvens.*

В точных и надежных чеквейерах МЕТТЛЕР ТОЛЕДО GARVENS применяются самые современные технологии взвешивания (цифровая взвешивающая ячейка). Системы GARVENS позволяют взвешивать до 600 единиц продукции в минуту весом от 0 г до 120 кг, с точностью взвешивания от 0,015 г.

- Классифицируют продукцию по весовым зонам («недовес», «перевес», «верный вес»).
- Выявляют недозаполнение или переполнение.
- Отбраковывают продукцию, не прошедшую весовой контроль.
- Соответствуют санитарным требованиям предприятий пищевой и фармацевтической отраслей.
- Обеспечивают постоянный контроль производства.

3. *Конвейерные весы Siemens – Milltronics.*

Продукция может быть откалибрована по стандартам OIML, MID, NTEP, SABS, и Measurement Canada. Она аттестована по ATEX и CSA/FM для использования во взрывоопасных зонах.

- Сочетают в себе простую модульную установку.
- Низкие потребности в обслуживании (отсутствие подвижных деталей) и стабильную точность для производительной работы.
- Они имеют минимальный гистерезис, высокую линейность и не реагируют на боковые нагрузки.
- Все модели весов защищены от перегрузок.
- Могут использоваться практически в любой промышленной среде и в любых применениях.

4. Контрольные весы серии DACS-G.

Эта линейка ультрасовременных контрольных весов гарантирует высокую точность, непревзойденную производительность и огромную надежность даже в самых сложных условиях работы.

- Надежное и прочное оформление защищает весовой механизм от ударов и тяжелых нагрузок.
- Экономящая пространство бескорпусная конструкция с опционально встроенным металлодетектором.
- Двухцветный сенсорный экран облегчает управление контрольными весами.
- Полностью удовлетворяет требованиям европейской директивы по измерительным приборам (MID).

5. Чеквейеры серии DLW

Весы этой модели используются для интеграции с имеющимися на производстве транспортерами с целью последующей проверки веса, контроля количества и качества перемещаемой продукции. Реализуемые функции Чеквейер выполняет следующие действия:

- динамическое и статическое взвешивание пакетов в полуавтоматическом или автоматическом режиме;
- управление разделителем пакетов в целях оптимизации количества упаковок, проходящих по конвейеру в единицу времени;
- при необходимости взвешивания в мл предусмотрена настройка коэффициента плотности;
- возможность программирования времени сигнализации;
- выполнение взвешивания (статика, динамика) с последующим автоматическим обнулением после выполнения запрограммированного количества взвешиваний и т.п.

Качество этих систем не вызывает сомнений, но существуют несколько значительных минусов. Прежде всего, это их высокая стоимость, которая образуется за счет непростой ситуации на рынке иностранной валюты, транспортных расходов, таможенных пошлин и дилерских процентов. Второй минус – это недостаточная конструктивная гибкость. Существует определенный модельный ряд поставляемых чеквейеров с предопределенными техническими характеристиками, который не всегда позволяет полностью вписаться в исходные требования покупателя, а изготовление на заказ влечет за собой серьезное увеличение сроков поставки и стоимости. Поэтому, необходима разработка средств динамического взвешивания с более низкой стоимостью, в случае, когда высокая точность не требуется.

На представленном чеквейере производится измерение объектов методом сравнения с мерой. Объект перемещается с помощью ленты 1, приводимой в движение приводной станцией 3. В момент перемещения объекта по роликам 5, прикрепленным к датчику 2, производится измерение его массы и сравнение ее значения с эталонной. Если они не равны, объект, сбрасывается с ленты сортирующим приводом 7. Если же равенство выполняется, то объект перемещается дальше.

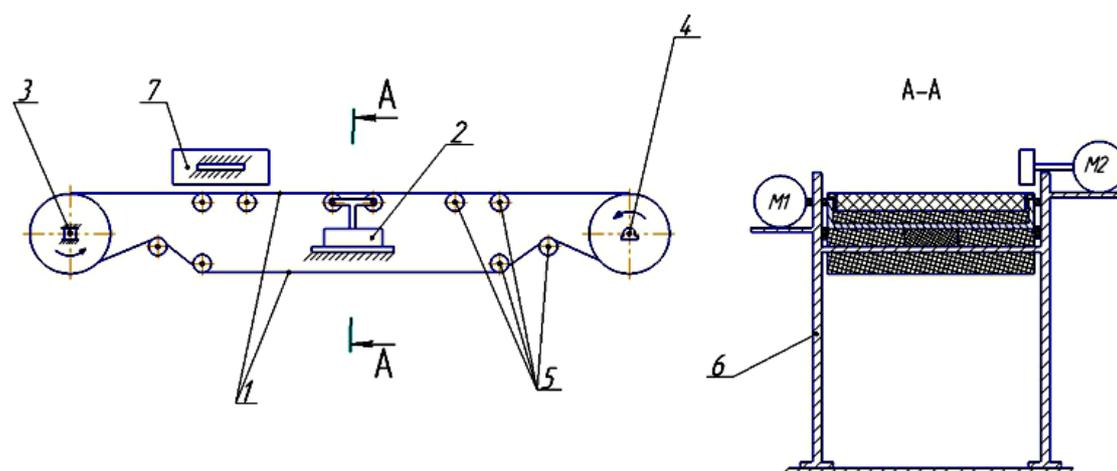


Рис. 2. Схема чеквейера

Конструкция предлагаемого чеквейера отвечает концепции импортозамещения и включает в себя натяжную станцию 4, приводную станцию 3, ролики 5, транспортировочную ленту 1, взвешивающего датчика фирмы ТВЕС 2, сортирующего привода 7 и корпус 6, на котором надежно закреплены все перечисленные элементы.

В настоящее время разработаны макет чеквейера и программное обеспечение для системы сбора данных. Погрешность измерения веса объектов контроля не превышает ± 5 г.

Список использованных источников

1. МР МОЗМ Р 50 «Автоматические суммирующие весоизмерительные приборы непрерывного действия (ленточные весы). Метрологические и технические требования».
2. Mettler toledo – «Программное обеспечение для чеквейеров. Функции и опции для повышения производительности».
3. Siemens Milltronics Process Instruments Inc. – Руководство по конвейерным весам и расходомерам. Комплексные решения. – 2009. – С. 4.
4. Ishida – «Инновации для взвешивания, упаковки и контроля качества продуктов питания» Оборудование. Контрольные весы. – 2016.
5. Dini Argeo – «Весы, системы взвешивания».

References

1. Mr MOZM R 50 “Automatic summing of weighing devices of continuous action (tape scale). Metrological and technical requirements”.
2. Mettler toledo – “Software – for checkweighers. The features and options to improve performance”.
3. Siemens Milltronics Process Instruments Inc. – The manual conveyor scales and flow meters. Integrated solutions. – 2009. – P. 4.
4. Ishida – “Innovation for weighing, packing and quality control of food” Equipment. Control scales. – 2016.
5. Dini Argeo – “Scales, weighing systems”.

Фирсова А. В., Мордасов Д. М.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

СКАНИРУЮЩАЯ ТУННЕЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Firsova A. V., Mordasov D. M.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

SCANNING TUNNELING MICROSCOPY OF DIELECTRIC FILMS

Аннотация. Рассматривается возможность применения сканирующей туннельной микроскопии для изучения поверхности мономолекулярной диэлектрической пленки.

Ключевые слова: мономолекулярная пленка, сканирующий туннельный микроскоп.

Abstract. The possibility of the use of scanning tunneling microscopy to study the surface of the dielectric monolayer film.

Keywords: monomolecular film, scanning tunneling microscope.

Создание сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) привело к развитию новых методов диагностики наноструктур и исследований физических процессов на поверхности и границах твердого тела. Формирование изображения сканируемой поверхности происходит путем измерения туннельного тока, возникающего в промежутке между крайним атомом зонда и ближайшим к нему атомом образца [1]. Таким образом, эффект одноэлектронного туннелирования является наиболее чувствительным к измерению рельефа сканируемой поверхности, что выгодно отличает СТМ от атомно-силовой микроскопии (АСМ), где в формировании изображения участвует не один атом зонда, а целая группа атомов, формирующая острие зонда АСМ.

В силу особенностей физических эффектов, положенных в основу принципа действия СТМ и АСМ, областью преимущественного применения СТМ являются проводящие материалы, АСМ-диэлектрики.

В настоящей работе с целью использования преимуществ СТМ, изучается возможность ее применения для анализа поверхности мономолекулярной диэлектрической пленки стеариновой кислоты.

Приготовление мономолекулярной пленки начинается с формирования монослоя поверхностно-активных веществ (ПАВ) на межфазной границе жидкость/воздух. Для формирования монослоя создана установка, включающая в себя прямоугольную ванну, подвижный барьер, выполненный в виде замкнутой гибкой ленты и систему перемещения барьера [2]. Увеличение поверхностного давления пленки за счет смещения барье-

ра приводит к изменению ее фазового состояния на «жидкое», далее «жидкокристаллическое», «твердое» с образованием упорядоченного монослоя.

Подложка, выполненная из поликарбоната, покрытого тонким слоем металлической пленки (алюминиевый сплав), размещается под углом 45° на дне ванны (рис. 1, а). Перенос пленки Ленгмюра на подложку осуществляется путем понижения уровня жидкой субфазы (рис. 1, б, с) [3].

Исследование полученной мономолекулярной пленки проводилось с помощью сканирующего туннельного микроскопа ФемтоСкан.

В процессе сканирования игла движется вдоль поверхности образца, туннельный ток поддерживается стабильным за счет действия обратной связи, и показания следящей системы меняются в зависимости от топологии поверхности. Такие изменения фиксируются, и на их основе строится карта высот.

Информация, полученная с помощью сканирующего туннельного микроскопа, хранится в виде СТМ-кадра, который наряду с полезной информацией, содержит побочные данные, искажающие морфологию и свойства поверхности. К нежелательным эффектам относятся шумы аппаратуры, нестабильности контакта зонд-образец при сканировании, внешние акустические шумы, вибрации и другие, устранение которых, с целью увеличения видимого разрешения, осуществляется путем применения специальных программных средств и фильтров.

В настоящее время не существует единой модели наблюдения диэлектрических объектов методом сканирующей туннельной микроскопии, поскольку в различных случаях природа и механизм возникновения тока различна. С целью обеспечения процесса одноэлектронного туннелирования нами были проведены экспериментальные исследования по выбору оптимальных параметров сканирования.

Образец представляет собой мономолекулярную диэлектрическую пленку на проводящей подложке. Для сканирования была выбрана область 10×10 нм, скорость сканирования 0,372 Гц, туннельное напряжение 52,4 мВ. Сканирование образца проходило при различных токах.

На рис. 2 показаны результаты экспериментальных исследований – трехмерное изображение поверхности. СТМ-исследования мономолекулярных пленок показали, что при малых токах наблюдались два ярко выраженных участка. На участке А (рис. 2, а, б) наблюдается режим при котором сканирующий сигнал отсутствует, это свидетельствует о механическом взаимодействии зонда с образцом. На участке В сигнал сканирования находится в пределах допустимого.

В результате исследований экспериментально получен оптимальный ток сканирования – 5,0...5,5 нА, при котором наблюдается устойчивое сканирование образца в выбранной области.

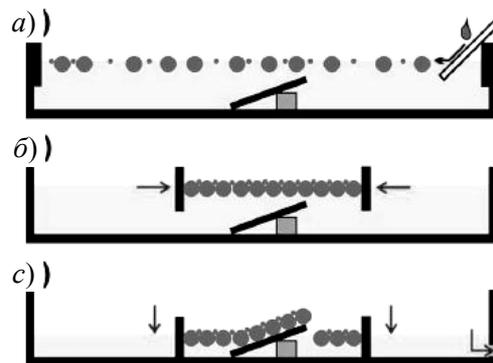


Рис. 1. Процесс нанесения пленки на поверхность подложки

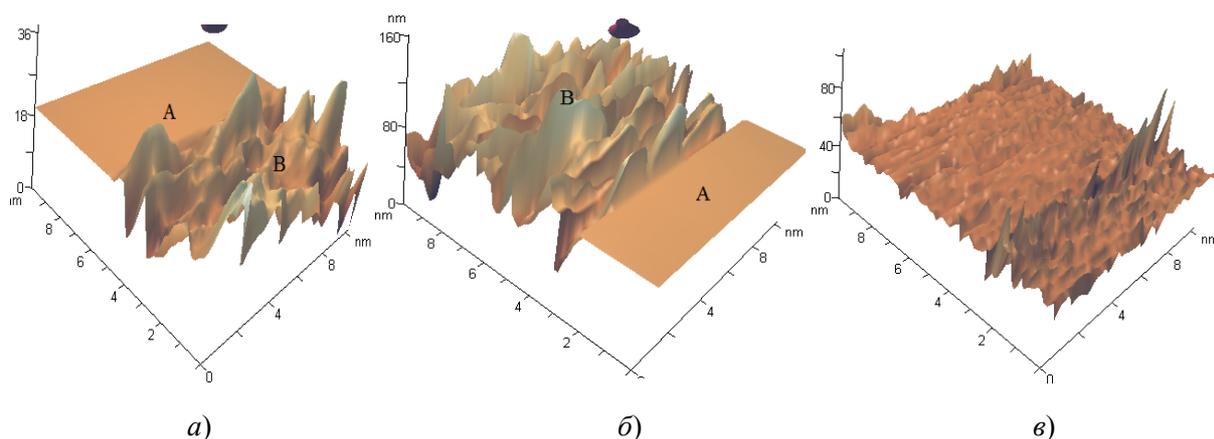


Рис. 2. 3-D изображение поверхности пленки при различных токах:
a – 3 нА; *б* – 4 нА; *в* – 5,5 нА

Изображение при использовании СТМ формируется путем построчного сканирования поверхности. В результате образуется выделенное направление, вдоль которого изображение имеет характерные особенности, заключающиеся в образовании области резкого изменения туннельного тока, следствием чего является образование области перехода высот. На изображении появляется «ступенька», которой на реальной поверхности нет. Чтобы убрать этот дефект, применяется усреднение по строкам, при этом все строки сдвигаются вверх или вниз так, чтобы их средние значения были одинаковыми. При этом меняется профиль столбца и ступеньки исчезают.

Также помимо полезного сигнала на изображении всегда присутствует шумовая составляющая. Чтобы убрать ее, следует заменить значения в каждой точке средним арифметическим значений всех точек в некоторой ближайшей окрестности. Такой прием называется усреднением.

Резкие выбросы позволяет убрать медианная фильтрация, представляющая собой нелинейный метод обработки изображений, который в отличие от усреднения сохраняет ступеньки. Если в точке был выброс, то она оказывается на краю отсортированной таблицы и не попадает в отфильтрованное изображение

Для оценки топологических свойств поверхности применена ее 2D визуализация. Программное обеспечение сканирующего туннельного микроскопа позволяет провести 2D визуализацию поверхности двумя способами: без фильтрации шумов и с фильтрацией шумов усреднением. Анализируя качество и отчетливость полученных изображений, можно утверждать, что при использовании метода фильтрации (рис. 3, *a*) визуальная оценка полученной 2D модели будет произведена точнее. Полученное СТМ-изображение (рис. 3, *б*) может быть использовано для определения размера и конфигурации молекул. СТМ-изображение получено в режиме постоянного тока с высоким разрешением сканера. Площадь молекулы стеариновой кислоты, ориентированной параллельно поверхности субфазы равно $1,22 \text{ нм}^2$, а перпендикулярно – $0,24 \text{ нм}^2$. В образовавшемся после растекания раствора монослое положение молекул варьируется от вертикального до горизонтального. Полученные в результате экспериментальных исследований значения площади соответствуют указанным выше.

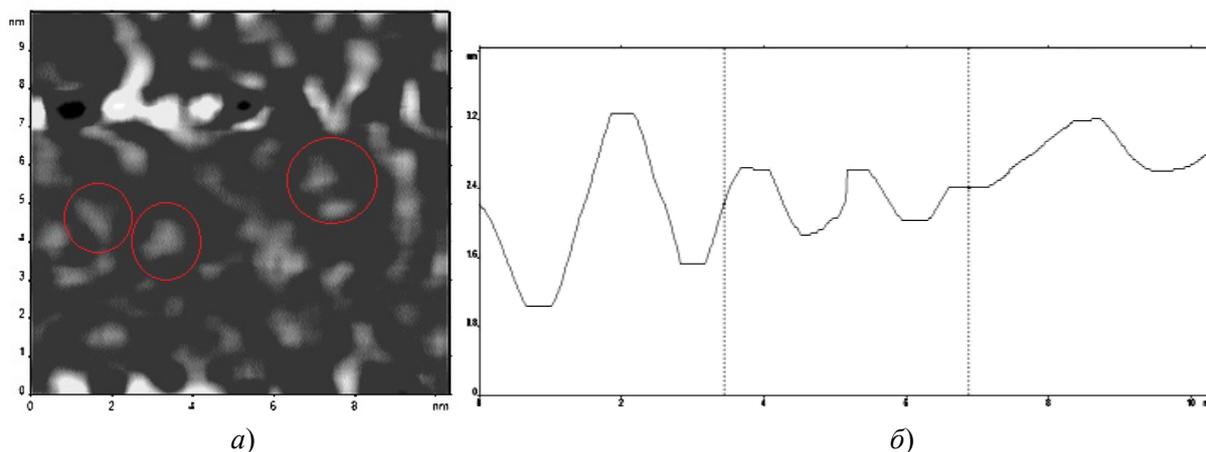


Рис. 3. СТМ-изображение поверхности образца (а) и его поперечное сечение (б)

Длина молекулы стеариновой кислоты составляет 2,5 нм, ее диаметр 0,9 нм. На рис. 3, б прослеживается закономерность вертикально расположенных молекул, размеры и длина которых соответствует теоретическим представлениям

Опираясь на приведенные выше результаты, можно сделать вывод о том, что сканирующая туннельная микроскопия является эффективным и удобным инструментом для изучения диэлектрических мономолекулярных пленок.

Результаты исследований могут быть использованы при изучении процессов формирования пленок Ленгмюра на поверхности жидкости, а также при исследовании состояния мономолекулярных пленок в условиях воздействия на них различных возмущающих факторов.

Список использованных источников

1. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М. : Техносфера, 2004. – 143 с.
2. Фирсова, А. В. Установка для формирования мономолекулярных пленок / А. В. Фирсова, А. В. Медведева, Д. М. Мордасов // сб. Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития. – Тамбов, 2015. – Вып. 6. – С. 65 – 68.
3. Vogel, Nicolas. Wafer-Scale Fabrication of Ordered Binary Colloidal Monolayers with Adjustable Stoichiometries / Nicolas Vogel, Laurence de Viguerie, Ulrich Jonas, Clemens K. Weiss, Katharina Landfester // – Advanced Functional Materials. – published : 13 MAY 2011.

References

1. Mironov, V. L. Fundamentals of the scanning probe microscopy. – М. : Technosphere, 2004. – 143 p.
2. Firsova, A. V. Apparatus for forming monomolecular films / A. V. Firsova, A. V. Medvedeva, D. M. Mordasov // sb. Problems of technogenic safety and sustainable development. Tambov, 2015. Vyp.6. P. 65 – 68.
3. Vogel, Nicolas. Wafer-Scale Fabrication of Ordered Binary Colloidal Monolayers with Adjustable Stoichiometries / Nicolas Vogel, Laurence de Viguerie, Ulrich Jonas, Clemens K. Weiss, Katharina Landfester.// – Advanced Functional Materials. – Published : 13 MAY 2011.

УДК 620.3:504.06

ББК Ж377+_з844.150.2

Шелохвостов В. П., Чернышов В. Н., Армянинов И. С.

Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ НАНОКОМПОНЕНТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Shelokhvostov V. P., Chernishov V. N., Armyaninov I. S.

Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

MICROPROCESSOR DETECTION SYSTEM COMPONENTS FOR QUALITY CONTROL ENVIRONMENT

Аннотация. Созданы универсальный тест-объект и база данных, которые локализованы в гетерорешетках (ячейках памяти) в виде поля, отражающего параметры искомого объекта в среде.

Описана созданная микропроцессорная система, обеспечивающая работу резонансных методов обнаружения и идентификации наноконпонентов в среде.

Ключевые слова: СПР-подход, метод обнаружения наноконпонентов.

Abstract. Create a universal test object and the database that localization in hetero lattices (memory locations) in a field that reflects the parameters of the desired object in the environment.

Described designed microprocessor system that provides job resonance methods of detection and identification among nanocomponents.

Keywords: SPR-approach, the method of detection components.

Интенсивное развитие области нанотехнологий связано в первую очередь с синтезом ультрадисперсных систем, составляющие которых используются в качестве наноконпонентов (НК) при производстве наноструктурированных сред, объемных наноструктурных материалов. В этой связи возникает необходимость обнаружения и количественной оценки этих НК в конечных продуктах и на различных стадиях технологического процесса. Используемое для этой цели исследовательское оборудование в некоторых случаях мало оправдано по различным причинам.

В этой связи все более актуальными оказываются оперативные методы обнаружения наноконпонентов, разрабатываемые, в том числе, с использованием новых СПР подходов – (С)труктурные состояния, (П)отоки энергетические, (Р)езонансные взаимодействия [1, 2].

В данной работе анализируется полупроводниковая полевая структура как универсальная ячейка памяти энергоинформационных энергетических спектров и представляется созданная на этой основе микропроцессорная система обнаружения наноконпонентов для контроля качества окружающей среды.

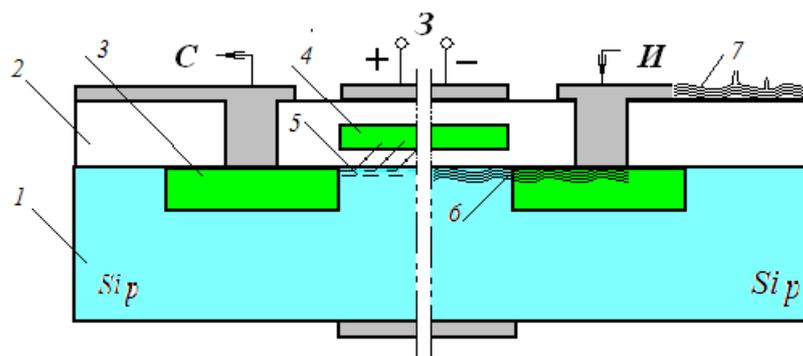


Рис. 1. Полевой транзистор с плавающим затвором:

- 1 – подложка (Si_p – типа); 2 – диэлектрик (SiO_2); 3 – области истока-стока (n^+);
 4 – плавающий затвор (кремний поликристаллический); 5 – индуцированный канал (n – типа);
 6, 7 – волновой пакет поверхностных поляритонов

Рассматривали полевую структуру с плавающим затвором типа n ЛИЗМОП, схема которой показана на рис. 1

Отличительной особенностью такой структуры является наличие плавающего металлического или полупроводникового затвора 4. Запись в такой структуре осуществляется подачей сигнала исток-сток при положительном смещении на затворе. При этом из области канала 5 вытесняются свободные носители (дырки), а положительное поле канала компенсируется привлечением свободных носителей другого знака (электронов). Протекание тока в возникшем приповерхностном канале сопровождается инжекцией носителей в плавающий затвор для компенсации положительного поля. После снятия смещения с затвора плавающий затвор оказывается заряженным отрицательно. Канал транзистора при этом закрывается, а заряд на плавающем затворе может сохраняться длительное время, являясь носителем информации (единичный акт информации), что хорошо освещено в литературе [3].

В данном случае проведен анализ процессов, при которых инжекция носителей сопровождается потоком световых (инфракрасный), плазменных, поляритонных и др. электромагнитных колебаний. Показано, что имеется возможность хранения смысловой информации о быстропротекающих процессах, недоступных для определения в реальном времени (энергетический спектр квантового объекта с близко расположенными устойчивыми возбуждениями, спектр распадающейся ассоциации, спектр формирования кластеров и др.). Возможность такая представляется при записи энергетических характеристик потоков в режиме отрицательного смещения на затворе. При этом электромагнитные колебания с поперечным вектором (WO -колебания) поглощаются на границе плавающего затвора и диэлектрика с возможностью создания связанных состояний типа экситонов, которые формируются собственными электронами (примесные носители отеснены отрицательным полем) и создают в запрещенной зоне плавающего затвора минизоны, характеризующие энергетическое состояние поглощенного потока. После снятия отрицательного смещения и создания положительного минизоны не разрушаются и не участвуют в коммутациях, используя свободные носители (примесные электроны). Обнаружение такого состояния (записи) возможно только резо-

нансными методами. Фактически структура является ячейкой памяти аналогового сигнала со сложной структурой. Наличие такой записи в структуре подтверждено экспериментально и может контролироваться методиками, предложенными в работах [1, 2].

Функциональная схема микропроцессорной системы, разработанной на основе созданной ячейки памяти, приведена на рис. 2.

Основным блоком системы контроля является 8-ми разрядный микроконтроллер ATMLAT896C51, который управляет функционированием всей системы в соответствии с алгоритмом. Объемом 32 Кбайт. Постоянное запоминающее устройство Intel 27C64 предназначено для хранения программного обеспечения системы, включая и программу управления.

Программное обеспечение (ПО) контроллера включает системное, прикладное, тестовое, написано на языке ассемблера по модульному принципу и, соответственно, может легко модифицироваться под конкретную задачу пользователя.

Системное ПО выполняет функцию арбитра между остальными группами программ и предоставляет им ресурсы системы по их запасам.

Прикладное ПО выполняет конкретную задачу пользователя и может использовать для своих нужд любые подпрограммы, имеющиеся в наличии. Оно осуществляет управление системой по заданному алгоритму, формирует необходимые временные задержки, обрабатывает результаты измерений и ведет диалог с пользователем, т.е. прикладное ПО является основным для данной системы.

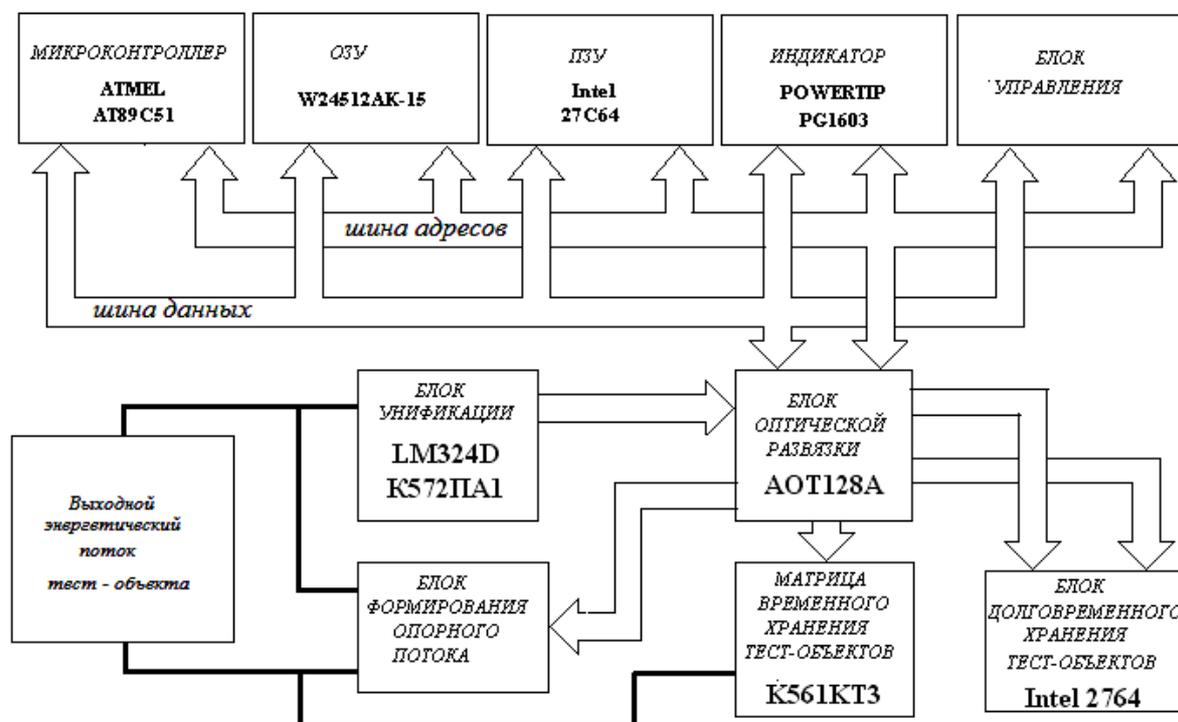


Рис. 2. Функциональная схема микропроцессорной системы работы с базой данных тест-объектов наноструктурных компонентов конденсированных сред

Тестовое ПО предназначено для автоматической проверки работоспособности системы при включении и содержит в себе тест ОЗУ, тест ПЗУ (проверка контрольной системы), тест интерфейсных устройств и тест процессора.

Для динамической индикации результатов взаимодействия энергетических потоков тест-объектов с внешними устройствами в системе экспресс-контроля используется 3-х строчный графический жидкокристаллический индикатор POWERTIRRP1603. Блок управления представляет собой емкостную клавиатурную матрицу 4×4.

Блок долговременного хранения тест-объектов реализован на микросхеме Intel 2764, созданной по технологии лавинной инжекции заряда (нЛИЗМОП). Временное хранение энергетических (электронных) тест-объектов, – включая накопление, объединение и уничтожение – осуществляется в матрице, основными элементами которой являются CMOS – ключи К561 КТЗ.

Блок формирования опорного потока (тока) предназначен для создания высокостабильного постоянного тока в диапазоне до 100 мкА во внешней цепи, в которой происходит взаимодействие с выбранным тест-объектом. Блок унификации информативных сигналов, состоящий из операционного усилителя LM324D и аналого-цифрового преобразователя серии К572 ПА1, преобразует значения тока в цепи внешнего объекта исследования.

Для гальванической развязки основных блоков системы (микроконтроллер, ОЗУ, ПЗУ, блок управления) с цепью объекта исследования и блоками долговременного и оперативного хранения электронных тест-объектов в системе используется оптическая развязка, реализованная на оптопарах АОТ28А.

Разработанная микропроцессорная система носит универсальный характер и может использоваться в различных методах резонансного обнаружения наноконпонентов при контроле различных сред и материалов (окружающая среда, сточные воды и др.).

Список использованных источников

1. Шелохвостов, В. П. / В. П. Шелохвостов, В. Н. Чернышов // Вестник ТГТУ. – 2007. – Т. 13, № 3, Рубрика 01, Препринт № 21. – 60 с.
2. Шелохвостов, В. П. Методы и системы диагностики наномодифицированных конденсированных сред / В. П. Шелохвостов, В. Н. Чернышов. – М. : Издательский дом «Спектр», 2013. – 144 с.
3. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов: в 2-х кн. / С. Зи ; пер. с англ. – 2-е перераб., доп., изд. – М. : Мир, 1984. – 456 с.

References

1. Shelohvostov, V. P. / V. P. Shelohvostov, V. N. Chernyshov // Herald TGTU. – 2007. – T. 13, N 3, Category 01, Preprint N 21. – 60 p.
2. Shelohvostov, V. P. Methods and diagnostic systems nanomodified Condensed Matter / V. P. Shelohvostov, V. N. Chernyshov. – M. : Publishing House “Spectrum”, 2013. – 144 p.
3. Sze, S. Physics of Semiconductor Devices: In 2 books. Trans. from English. – 2nd Revised. And add. Izd. – M. : Mir, 1984. – 456 p.

Мищенко С. В., Дивин А. Г., Хитрова Н. П.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОКОННЫХ БЛОКОВ

Mishchenko S. V., Divin A. G., Khitrova N. P.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

DEVELOPMENT OF THE STAND FOR THE CONTROL OF THERMAL RESISTANCE OF WINDOWS

Аннотация. Статья посвящена разработке стенда для контроля сопротивления теплопередаче оконных блоков. Стенд делает предприятие независимым от организаций, проводящих испытания, предоставляет возможность самим испытывать продукцию и контролировать ее качество.

Ключевые слова: контроль, оконные блоки, сопротивление теплопередаче.

Abstract. The article is devoted to the development of the stand for the control of thermal resistance of windows. Stand makes the company independent of the bodies responsible for testing, provides the ability to perform tests on their own, to control the quality of products.

Keywords: control, windows, thermal resistance.

В условиях усиления конкурентной борьбы за рынки сбыта предприятия вынуждены повышать требования к качеству производимой продукции в сравнении с аналогами конкурентов.

В настоящее время в строительстве реализуется курс на снижение уровня энергопотребления зданий, посредством принятия новых нормативных требований к тепловой защите, повышающих требуемые значения сопротивления теплопередаче для стен, окон и покрытий. Тенденции развития современных оконных конструкций в первую очередь направлены на повышение их теплотехнических характеристик. В связи с этим возникает необходимость контроля этих характеристик оконных блоков, в частности сопротивления теплопередаче. Поэтому компании, производящие оконные блоки, стремятся улучшить свою продукцию, сделать ее более конкурентоспособной, повышая требования к производимой продукции. В связи с этим стала очевидной необходимость разработки стенда для контроля сопротивления теплопередаче оконных блоков (рис. 1).

Суть метода контроля оконного блока заключается в создании постоянного во времени перепада температур по обеим сторонам испытываемого образца, измерении температуры воздуха и поверхностей участков образца, а также теплового потока, проходя-

шего через образец оконного блока в стационарных условиях, и последующем вычислении значений сопротивления теплового, и последующем вычислении значений сопротивления теплопередаче.

Климатическая камера, состоит из двух теплоизолированных отсеков, теплого 2 и холодного 5, имеет перегородку, в которую устанавливают стеклопакет 4 для испытаний. Вертикально и горизонтально осям в центрах предполагаемых однородных зон температур, на поверхностях образца оконного блока устанавливаются термодары. Измерение значений температуры воздушной среды с холодной и теплой сторон испытываемого образца производится путем установки термодаров, расположенных на расстоянии 0,15 м от внутренней и внешней поверхности. Количество термодаров с каждой стороны испытываемого образца не менее трех.

Чтобы измерить тепловые потоки приставную калориметрическую камеру размещают в теплом отделении климатической камеры, прижимая торцевые поверхности к поверхностям перегородки, которые граничат с испытываемым оконным блоком. Прилегающие к откосам проема места герметизируют и уплотняют.

После проверки и подготовки средств измерения и оборудования, устанавливаются заданные значения температуры на регулирующей аппаратуре, производится включение системы автоматического поддержания температуры и другого испытательного оборудования: нагревательного 1, холодильного 6, вентиляционного.

Предел температур в теплой зоне должен составлять от 18 до 20 °С, в холодной не выше минус 20 °С.

Во время разработки были использованы приборы, позволяющие контролировать и управлять процессом измерения температуры и тепловых потоков, а именно: два вторичных прибора ОВЕН ТРМ 138 (универсальный измеритель-регулятор температуры), прибор ИТП-МГ4.03 (измеритель тепловых потоков).

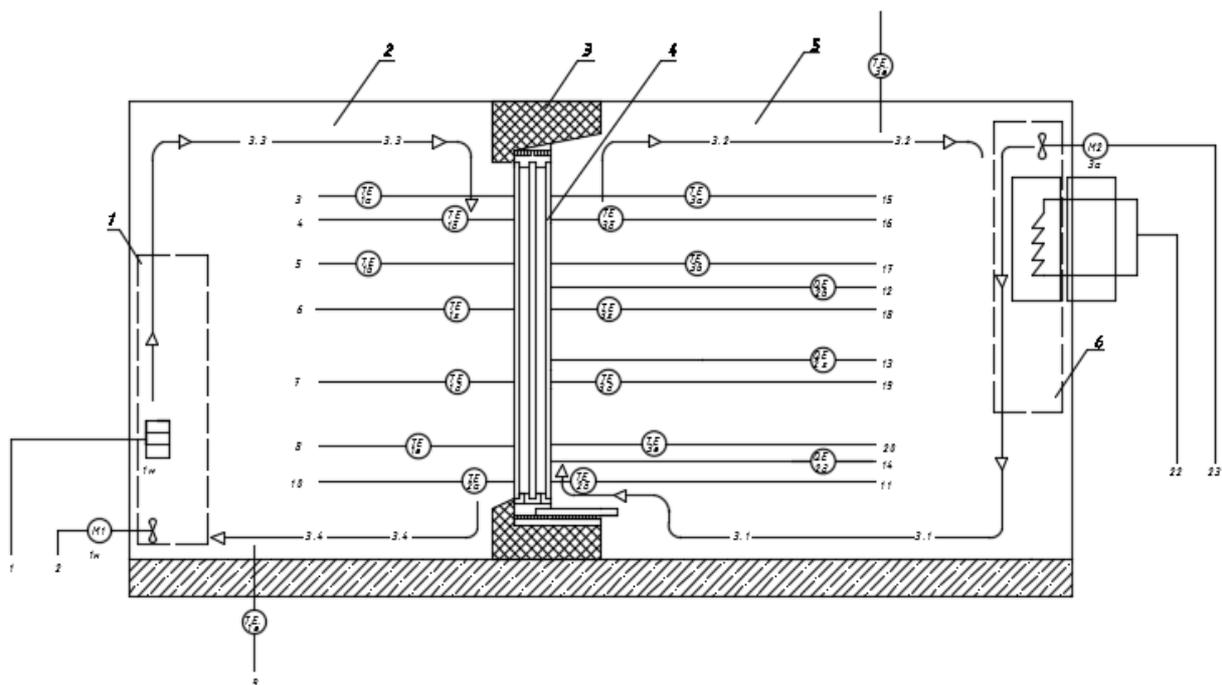


Рис. 1. Стенд контроля сопротивления теплопередаче оконных блоков

При измерении плотности тепловых потоков при помощи тепломеров коэффициент приведенного сопротивления теплопередаче испытанного оконного блока R_o^{np} , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ рассчитывают по формуле:

$$R_o^{np} = 1 / \alpha_b + R_K^{np} + 1 / \alpha_n, \quad (1)$$

где R_K^{np} – приведенное термическое сопротивление испытанного оконного блока, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$; α_b , α_n – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей оконного блока, которые равны:

$$\alpha_b = 8,0 \text{ Вт} / (m^2 \cdot ^\circ C),$$

$$\alpha_n = 23,0 \text{ Вт} / (m^2 \cdot ^\circ C).$$

Среднее значение плотности теплового потока, который проходит через испытываемый образец оконного блока q^{np} , измеряемый при помощи приставной калориметрической камеры рассчитывают по формуле 2:

$$q^{np} = \left\{ (UI + Q_{эл}) - \sum_{i=1}^{i=n} [(\tau_{vi} - \tau_{ni}) \lambda / \delta_i] A_i \right\} / A_o, \quad (2)$$

где U – напряжение в сети постоянного тока нагревателя в теплом отделении камеры, В; I – сила тока в сети нагревателя калориметра, А; $Q_{эл}$ – тепловая мощность, выделяемая электродвигателем вентилятора приставной камеры, Вт; τ_{vi} , τ_{ni} – средние за период измерений значения температуры соответственно внутренней и наружной поверхностей i -го участка теплоизоляционного материала, который заполняет проем ограждения вне пределов испытываемого образца оконного блока, разделяющего теплое и холодное отделения климатической камеры, $^\circ C$; λ – теплопроводность теплоизоляционного материала, $Вт / (м \cdot ^\circ C)$; δ_i – толщина слоя i -го участка теплоизоляционного материала, м; A_i – площадь поверхности i -го участка теплоизоляционного материала, m^2 ; A_o – площадь расчетной поверхности испытанного образца оконного блока, m^2 .

Результаты испытаний на определение теплотехнических свойств оконного блока могут быть распространены на типоразмерный ряд изделий, которые отличаются по габаритным размерам и относительной площади остекления. Значения приведенного термического сопротивления оконных блоков типоразмерного ряда рассчитывают по следующей формуле:

$$R_K^{np} = \frac{1}{\beta / R_K^{ct} + (1 - \beta) / R_K^p}, \quad (3)$$

где R_K^{ct} – приведенное термическое сопротивление светопропускающей части оконного блока, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$; R_K^p – приведенное термическое сопротивление непрозрачной части испытанного оконного блока, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$; β – отношение площади остекления к площади заполнения светового проема рассчитываемого оконного блока типоразмерного ряда.

Приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока типоразмерного ряда рассчитывают по формуле (1), учитывая значения приведенного термического сопротивления, которые рассчитаны по формуле (3).

Наличие собственного стенда контроля сопротивления теплопередаче делает предприятие независимым от различных организаций, проводящих испытания, а также предоставляет уникальную возможность проводить типовые испытания самостоятельно, с целью контроля качества продукции и отслеживания улучшений внедряемых технологий производства оконных блоков и тем самым обеспечивать потребителей надежными окнами. Испытания, проводимые на стенде, показывают как влияют на показатель сопротивления теплопередаче внедряемые технологии, такие как: заполнение стеклопакетов инертными газами (аргон, криптон), применение энергосберегающих стекол, с нанесенным на них специальным покрытием (покрытие ионами серебра).

Список использованных источников

1. ГОСТ 23166–99. Блоки оконные. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1999.
2. ГОСТ 26254–84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. – М. : Изд-во стандартов, 1985.
3. ГОСТ 26602.1–99. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. – М. : Изд-во стандартов, 2000.

References

1. State Standard 23166–99. Window blocks. General specifications. – Moscow, Publishing House of Standards, 1999. (In Russian);
2. State Standard 26254–84. Buildings and constructions. Methods for determining the R-value. – Moscow, Publishing House of Standards, 1985. (In Russian);
3. State Standard 26602.1–99. Power windows and door. Methods for determination of resistance to heat transfer. – Moscow, Publishing House of Standards, 2000. (In Russian).

УДК 621.3.032:539.23

ББК 3857+Л114.6

Шелохвостов В. П., Михайлова М. В., Макаrchук М. В., Чернышов В. Н.

Тамбовский государственный технический университет

(Россия, г. Тамбов)

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ ГЕТЕРОСТРУКТУР В МЕТОДАХ
И УСТРОЙСТВАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Shelokhvostov V. P., Mihailova M. V., Makarchuk M. V., Chernyshov V. N.

Tambov State Technical University

(Russia, Tambov)

**THE ANALYSIS OF AGENCY OF ELECTRIC FIELD ON ENERGY LEVELS
OF HETEROSTRUCTURES IN METHODS AND DEVICES
OF THE ECOLOGICAL MONITORING**

Аннотация. Проведен анализ изменения устойчивых энергетических уровней в квантовых ямах диэлектрик-полупроводник-диэлектрик под воздействием внешнего электрического поля.

Показана возможность записи и хранения экситон-поляритонного пакета с энергиями в пределах видимого и инфракрасного энергетического диапазона.

Ключевые слова: электрическое поле, квантовые ямы, МДП-транзистор.

Abstract. The analysis of change of resistant to energy levels in quantum pits dielectric – semiconductor – dielectric under affecting of an external electric field is lead.

The opportunity of writing and storage exciton-polariton a package with энергиями in limits of a visible and infra-red energetic band is shown.

Keywords: electric field, quantum wells, MIS transistor.

Возможность оценки свойств растворов высокого разбавления по структурным изменениям среды, возникшим под воздействием примесей субмикроскопических концентраций, показана в работе [1]. Реализация этих идей средствами микроэлектроники требует рассмотрения условий и параметров, связанных с коммутацией, записью, хранением энергетических соотношений (энергетического образа) определяемой примеси как единого экситон-поляритонного энергетического пакета.

В данной работе анализировалось влияние электрического поля на энергетические уровни в квантовых ямах из слоев материалов, использующихся в структурах ячеек памяти на МДП-транзисторах. Энергетическая диаграмма прямоугольной потенциальной ямы показана на рис. 1.

Будем полагать, что поле напряженности F направлено параллельно оси x . Потенциальная энергия электрона для $0 < x < W$ в этом случае имеет вид

$$U(x) = qFx + \text{const},$$

Здесь q – абсолютная величина заряда электрона. Выбирая постоянную так, чтобы $U(x) = 0$ при $x = 0$, получим $U(x) = qFx$. В этом случае отыскание состояний движения частицы сведется к решению уравнения

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Psi''(x) + qFx\Psi(x) = E\Psi(x). \quad (1)$$

Сделав замену переменной x на

$$Z = \left(x - \frac{E}{qF} \right) \left(\frac{2mqF}{\hbar^2} \right)^{1/3},$$

уравнение (1) можно представить в виде

$$\Psi''(Z) - Z\Psi(Z) = 0. \quad (2)$$

В свою очередь общее решение уравнения (2) имеет вид

$$\Psi(Z) = C_1 Ai(Z) + C_2 Bi(Z), \quad (3)$$

где $Ai(Z)$ и $Bi(Z)$ – функции Эйри первого и второго рода соответственно. Известно, что при $Z < 0$ $Ai(z)$ и $Bi(z)$ – осциллирующие функции, а при $Z > 0$ $Ai(z) \rightarrow 0$, $Bi(z) \rightarrow \infty$. Отметим, что расстояния $(\alpha_n - \alpha_{n-1})$ и $(\beta_n - \beta_{n-1})$ уменьшаются с увеличением n (α_n – корни $Ai(z)$, β_n – корни $Bi(z)$), т.е. корни $Ai(z)$ и $Bi(z)$ сгущаются.

Используя граничные условия ($\Psi = 0$) при $x = 0$ и $x = W$, можно получить дисперсионное уравнение, определяющее разрешенные значения энергии E_n , в виде

$$Ai(Z^+)Bi(Z^-) - Ai(Z^-)Bi(Z^+) = 0, \quad (4)$$

где Z^+ и Z^- – соответствуют Z при $x = W$ и $x = 0$. Отметим, что в данном случае отношение постоянных C_1 и C_2 будет иметь вид

$$\frac{C_2}{C_1} = -\frac{Ai(Z^+)}{Bi(Z^+)} = -\frac{Ai(Z^-)}{Bi(Z^-)}.$$

В случае произвольной величины поля и размеров квантовой ямы решение уравнения (1) удается найти лишь приближенными методами.

В случае слабого электрического поля и достаточно узкой квантовой ямы решение уравнения (1) можно найти, используя теорию возмущений [2].

Для этого, разобьем гамильтониан \hat{H} в (2.1.1) на два слагаемых

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{V},$$

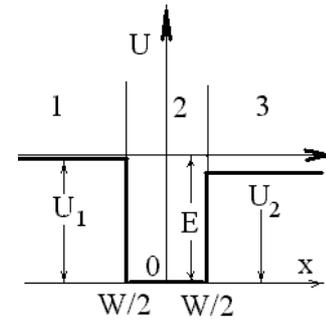


Рис. 1. Энергетическая диаграмма прямоугольной потенциальной ямы:

E – полная энергия частицы;
 U – потенциальная энергия;
 W – размер квантовой ямы

где \hat{H}_0 – гамильтониан задачи, допускающей точное решение, а \hat{V} – малая добавка (оператор возмущения). В нашем случае положим

$$\hat{H}_0 = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2}, \quad \text{а} \quad \hat{V} = qFx.$$

Тогда, для невозмущенной задачи имеем

$$\hat{H}_0 \Psi^{(0)} = E_n^{(0)} \Psi^{(0)};$$

$$E_n^{(0)} = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\pi}{W} \right)^2 n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots; \quad (6)$$

$$\Psi_n^{(0)} = \sqrt{\frac{2}{W}} \sin\left(\frac{\pi}{W} nx\right) \quad \text{при} \quad 0 \leq x \leq W.$$

Теперь в соответствии со стационарной теорией возмущения в первом приближении собственные значения и собственные функции оператора \hat{H} могут быть вычислены по формулам

$$E_n^{(1)} \approx E_n^{(0)} + V_{nn}; \quad (7)$$

$$\Psi_n^{(1)} \approx \Psi_n^{(0)} + \sum_{l \neq n} \frac{V_{ln}}{E_n^{(0)} - E_l^{(0)}} \Psi_l^{(0)},$$

здесь

$$V_{ln} = \langle \Psi_l^{(0)} | \hat{V} | \Psi_n^{(0)} \rangle; \quad (8)$$

V_{ln} – матричный элемент оператора \hat{V} в « $E^{(0)}$ – представлении», т.е. V_{nn} есть среднее значение возмущения в состоянии, описываемом невозмущенной функцией $\Psi_n^{(0)}$. В нашем случае, подставляя (6) в (8), получим

$$V_{nn} = \int_0^W \Psi_n^{(0)*} \hat{V} \Psi_n^{(0)} dx = 0,5qFW, \quad (9)$$

т.е. в первом порядке теории возмущений все разрешенные уровни энергии в квантовой яме смещаются одинаково на величину $0,5qFW$ и

$$E_n^{(1)} \approx \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\pi}{W} \right)^2 n^2 + 0,5qFW. \quad (10)$$

Заметим, что согласно (10) положение уровней относительно дна квантовой ямы в точке $x = 0,5W$ не изменяется, так как при наличии электрического поля дно квантовой ямы в этой точке тоже смещается на $0,5qFW$.

Во втором приближении поправка к собственному значению $E_n^{(0)}$ определяется выражением

$$\Delta E_n^{(2)} = V_{nn} + \sum_{l \neq n} \frac{|V_{ln}|^2}{E_n^{(0)} - E_l^{(0)}}. \quad (11)$$

Таким образом, для основного состояния во втором порядке теории возмущений в нашем случае имеем

$$V_{11} = \int_0^W \Psi_l^{(0)*} V \Psi_1^{(0)} dx = \frac{-4[1 + (-1)^l] l qFW}{\pi^2 (l-1)^2 (l+1)^2} \quad (12)$$

и

$$E_1^{(2)} = E_1^{(0)} + 0,5qFW - \left(\frac{4}{\pi}\right)^4 \frac{(qFW)^2}{E_1^{(0)}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(k+1)^2}{(2K+1)^5 (2K+3)^5}. \quad (13)$$

Согласно (13) во втором приближении при наличии слабого однородного электрического поля энергетический зазор между дном квантовой ямы и основным состоянием в точке $x = 0,5W$ будет уменьшаться пропорционально квадрату напряженности электрического поля. Отметим, что вклад в V_{11} , а следовательно, и в $\Delta E_1^{(2)}$ дают только состояния с четными l .

Оценки показывают, что ряд в (13) быстро сходится и при вычислении $E_1^{(2)}$ обычно достаточно ограничиться учетом всего одного слагаемого. При этом получим, что

$$E_1^{(2)} \cong E_1^{(0)} + 0,5qFW - 1,08 \cdot 10^{-2} \frac{(qFW)^2}{E_1^{(0)}}. \quad (14)$$

Учет второго слагаемого с $K = 1$ в (13) изменит значение суммы менее чем на 0,2%. Таким образом, (14) можно считать хорошим приближением для (13).

Условие применимости теории возмущений требует, чтобы матричные элементы оператора \hat{V} были малы по сравнению с соответствующими расстояниями между невозмущенными уровнями энергии, т.е. чтобы выполнялось неравенство

$$|V_{ln}| \ll |E_n^{(0)} - E_l^{(0)}|. \quad (15)$$

В нашем случае необходимо, чтобы

$$|V_{21}| \ll |E_1^{(0)} - E_2^{(0)}|$$

или, раскрывая V_{21} и $E_2^{(0)}$,

$$qFW \ll 16E_1^{(0)}. \quad (16)$$

Таким образом, выражение (14) можно использовать для оценки положения разрешенных энергетических уровней в квантовой яме, пока максимальное изменение потенциала на краю ямы под действием электрического поля не станет порядка $E_1^{(0)}$.

Для кремния с шириной квантовой ямы 40 нм при приложенном напряжении на затвор 12 В положения разрешенных энергетических уровней не выходят за пределы энергетического диапазона ямы и соответствуют:

$$E_1 = 46 \text{ мэВ}, E_2 = 366 \text{ мэВ}, E_3 = 646 \text{ мэВ}, E_4 = 1006 \text{ мэВ}, E_5 = 1446 \text{ мэВ}.$$

Исходя из этого при наличии разрешенных энергетических уровней в рассматриваемой системе возможна запись информации в виде энергетических пакетов. Запись, вероятно, может осуществляться подачей напряжения в перпендикулярном направлении.

Очевидно, что если энергия электрона совпадает с энергией уровня в потенциальной яме, то происходит резонансное тунелирование. Эффект тунелирования возникает, когда электронная волна так согласуется с размерными квантовыми уровнями в яме, что волновая функция резонансных электронов сохраняет когерентность по всей квантовой системе. В этом случае, так же как и в оптике, амплитуда волны в яме должна расти и должно возникнуть резонансное тунелирование через всю структуру.

Для осуществления резонансного тунелирования необходимо выполнение ряда требований к параметрам электрона и к барьерной системе. Во-первых, длина волны электрона должна быть сравнима с шириной квантовой ямы. Во-вторых, длина свободного пробега должна быть достаточно велика, чтобы электрон имел возможность многократно пройти через яму без рассеяния. При этом он должен испытывать на границах ямы только зеркальное рассеяние, либо с очень небольшой добавкой диффузности. В-третьих, энергия электрона должна совпадать с энергией одного из локальных квантовых уровней в квантовой яме.

В рассматриваемых структурах с большой диэлектрической проницаемостью кулоновское взаимодействие электрона и дырки в значительной степени экранируется. Экранирование приводит к тому, что экситонные боровские радиусы составляют несколько нанометров, что во много раз превышает боровский радиус водорода.

Уровни энергии экситонов представляют собой водородоподобную серию по главному квантовому числу n [3]:

$$E_n(k) = E_g - R_{ex} \left(\frac{1}{n^2} \right) + \frac{\hbar^2 k^2}{2M},$$

где E_g – ширина запрещенной зоны; R_{ex} – эффективный ридберг, или энергия связи экситона; k – волновой вектор экситона; M – сумма масс электрона и дырки; \hbar – постоянная Планка, деленная на 2π .

Расчетное значение уровней энергии экситонов представляют собой численный ряд: 1,40; 1,70; 1,75 эВ, что соотносится с энергетическими уровнями в приведенной выше потенциальной яме. При переходах из основного состояния в возбужденное будет поглощаться или выделяться энергия примерно в 1,4 эВ, что соответствует экситон – поляритонному спектру с длиной волны в 880...890 нм.

Таким образом, показана возможность сохранения в рассматриваемых квантовых ямах энергетического спектра, соответствующего длинам волн 880...890 нм при внешнем воздействии электрическим полем до 12 В, используемым обычно при записи аналоговых и цифровых сигналов в ячейках памяти на МДП – транзисторах.

Список использованных источников

1. Шелохвостов, В. П. Структура и свойства растворов высокого разбавления / В. П. Шелохвостов, М. В. Макаrchук, Д. А. Шеришорин, В. М. Чернышов // Вестник ТГУ. – 2003. – Т. 8. – Вып. 4. – С. 698 – 702.
2. Лихарев, К. К. О возможности создания аналоговых и цифровых интегральных схем на основе дискретного одноэлектронного тунелирования // Микроэлектроника. – 1987. – Т. 16. – Вып. 3. – С. 195 – 209.
3. Агранович, В. М. Поверхностные поляритоны / В. М. Агранович, А. А. Марадудин. – М. : Наука, 1985.

References

1. Shelohvostov, V. P. Structure and properties of high dilution solutions / V. P. Shelohvostov, M. V. Makarchuk, D. A. Sherishorin, V. M. Chernyshov // Vestnik TSU. – 2003. – V. 8. – Is. 4. – P. 698 – 702.
2. Likharev, K. K. On the possibility of the creation of analog and digital integrated circuits based on discrete single-electron tunneling // Microelectronics. – 1987. – T.16. – V. 3. – P. 195 – 209.
3. Agranovich, V. M. Surface polyaritony / V. M. Agranovich, A. A. Maradudin. – M. : Science, 1985.

Голубева Л. В., Долматова О. И., Бочарова Е. И.
Воронежский государственный университет инженерных технологий
(Россия, г. Воронеж)

АНАЛИЗ АРОМАТОВ СГУЩЕННЫХ МОЛОЧНЫХ И МОЛОКОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ

Golubeva L. V., Dolmatova O. I., Bocharova E. I.
Voronezh State University of Engineering Technology
(Russia, Voronezh)

ANALYSIS FLAVORS OF CONDENSED MILK AND MILK PRODUCTS

Аннотация. Большое значение при оценке качества молочных продуктов уделяют органолептическим показателям (вкус, запах, цвет, консистенция). Общие правила органолептической оценки молочных продуктов определяют эксперты. Для их оптимальной работы перед началом проведения анализа продуктов следует учитывать целый ряд факторов. Органолептическую оценку запаха и аромата продукта проводят нюхая и пробуя его на вкус. Однако не всегда можно правильно методом дегустации определить органолептические показатели, в том числе и аромат. Проведен анализ ароматов сгущенных молочных и молокосодержащих продуктов с помощью газоанализатора «МАГ-8». Установлено, что для сохранения аромата исходного продукта, содержание сорго не должно превышать 3...3,5 % масс. Содержание 4 и выше % масс. критично для аромата, при этом другие физико-химические показатели могут соответствовать регламенту.

Ключевые слова: сгущенные молочные и молокосодержащие продукты.

Abstract. Great importance is attached organoleptic (taste, smell, color, consistency) in assessing the quality of dairy products. General rules for sensory evaluation of dairy products by an expert. For their optimum performance a number of factors should be considered before starting the analysis of the products. Sensory evaluation of odor and flavor of the product is carried out smelling and tasting it. However, you can not always correctly identify the method of tasting organoleptic characteristics, including flavor. The analysis of "MAG-8" flavors of condensed milk and milk products by a gas analyzer. It is established that to preserve the original flavor of the product, sorghum content must not exceed 3...3,5% by weight. The content of 4% by weight or higher. critical to the flavor, and the other physical and chemical indicators can meet the regulations.

Keywords: condensed milk and milk products.

Известно использование сиропа сахарного сорго в пищевых продуктах [1 – 3]. Предложено внесение сиропа сорго в сгущенное молоко. Растительная добавка придает продукту новые заранее заданные свойства, в том числе функциональную направленность, положительно сказывается на его хранимоспособности [4 – 5].

Большое значение при оценке качества молочных продуктов уделяют органолептическим показателям:

- вкус;
- запах;
- цвет;
- консистенция.

Общие правила органолептической оценки молочных продуктов определяют эксперты. Для их оптимальной работы перед началом проведения анализа продуктов следует учитывать следующие факторы.

1. Эксперт не должен страдать каким-либо заболеванием, которое может повлиять на его работу. В таком случае его должен заменить другой эксперт.

2. Эксперты должны вовремя являться для проведения оценки и быть уверенными, что могут посвятить этому достаточно времени.

3. Эксперты не должны пользоваться никакими духами и средствами после бритья, пахучими дезодорантами и лосьоном для рук, не должны есть пищу с сильным ароматом и специями (перед тестированием) и т.д.

4. Эксперты не должны курить, есть или пить что-либо, кроме воды в последние полчаса перед проведением оценки.

Для проведения органолептического анализа различных молочных продуктов должны быть подготовлены все необходимые документы, например следующие:

- рекомендуемые методы;
- все признаки продукции и определения признаков;
- технические условия на продукцию;
- документы по безопасности продукции.

В помещениях для анализа необходимо наличие:

- стен и потолков предпочтительно светлого цвета (кремового или светло-серого нейтрального), матовых, без декора;
- перегородок между рабочими местами каждого эксперта для проведения оценки в положении сидя;
- столешниц и разделителей матового светло-серого нейтрального цвета;
- освещения, не дающего больших теней, с цветовой температурой 6500 К, постоянной и одинаковой интенсивностью, с освещенностью от 800 до 1500 лк;
- постоянной температуры;
- отсутствия в окружающей среде посторонних запахов;
- поддержания минимального уровня шума в процессе анализа;
- укрытия зоны для приготовления пробы от экспертов, если необходимо, чтобы проба готовилась в помещении для оценки;
- максимальных удобств для экспертов, особенно в отношении температуры и влажности;
- постоянного контроля за оборудованием и условиями окружающей среды.

Перед оценкой рекомендуется выдерживать пробы для анализа при температуре, указанной на упаковках, установленной потребителем или принятой в национальном законодательстве и технических условиях на продукцию.

Проводят органолептическую оценку запаха и аромата нюхая и пробуя продукт на вкус. Однако не всегда можно правильно методом дегустации определить органолептические показатели, в том числе и аромат.

Проведен анализ ароматов сгущенных молочных и молкосодержащих продуктов с помощью газоанализатора «МАГ-8».

Получены «визуальные отпечатки» аромата сгущенного молока и сиропа сорго, результаты представлены на рис. 1 (проба 1 – продукт без сиропа сорго, проба 2 – продукт с сиропом сорго).

Площадь визуального отпечатка (ВО) пробы 1 ($S = 7548$ Гц·с) больше площади ВО пробы 2 ($S = 4794$ Гц·с) на 37%, что связано с внесением в пробу 2 сахаров растительного происхождения.

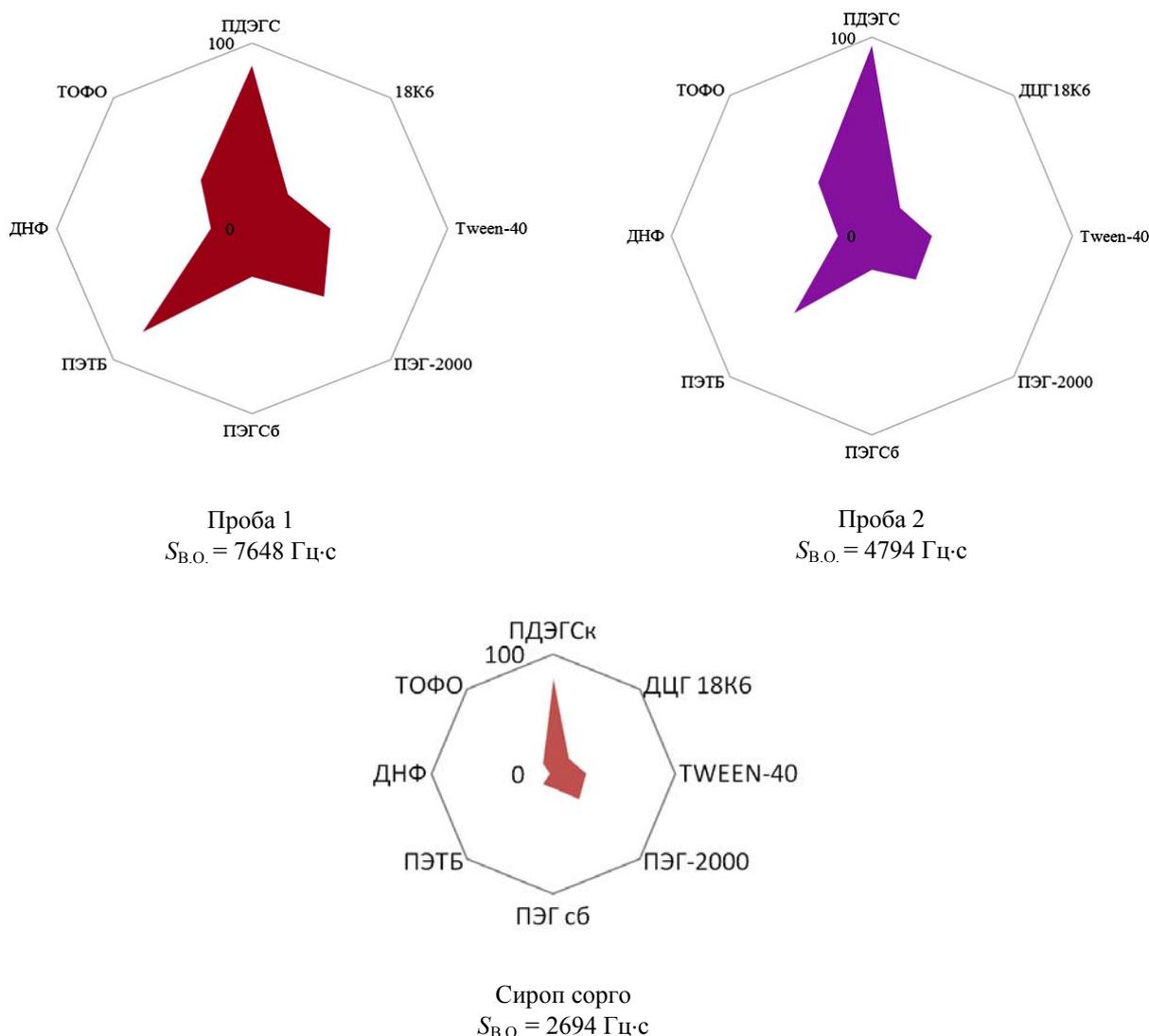


Рис. 1. «Визуальные отпечатки» аромата сиропа сорго

Площадь ВО сиропа сорго ($S = 2694$ Гц·с) меньше площади ВО пробы 1 на 64,8%, и меньше площади ВО пробы 2 на 47%.

Следовательно, в пробе 2 (сгущенного молока с сиропом сорго) происходит гораздо меньшее накопление продуктов распада углеводов.

Установлено, что при внесении сиропа сорго интенсивность исходного аромата продукта закономерно уменьшается (рис. 2, 3).

Скорость изменения аромата пробы стандарта при внесении сорго различна (рис. 4).

Минимальное изменение аромата пробы по результатам анализа РГФ над ними характерно при внесении 3...4% масс. сорго. При увеличении доли сиропа сорго аромат изменяется резко, что может негативно сказываться на оценке аромата дегустаторами и потребителями.

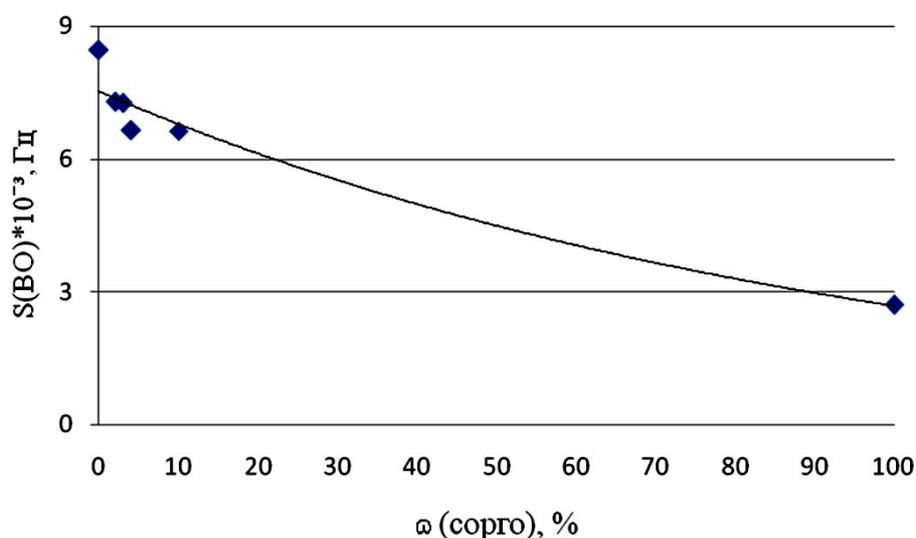


Рис. 2. Площадь «ВО» в зависимости от количества внесенного сорго

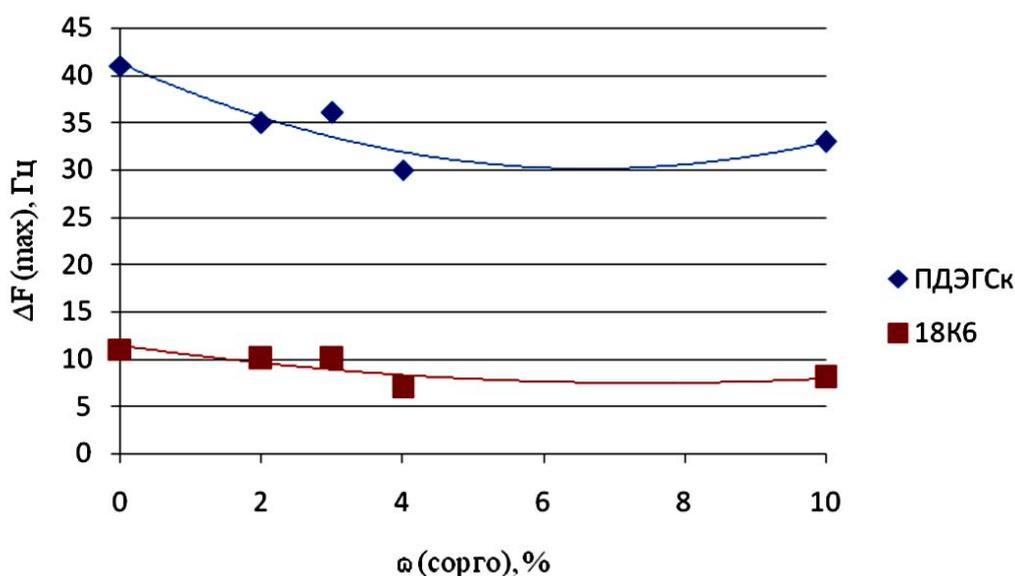


Рис. 3. Максимальные отклики сенсоров (ΔF_{max} , Гц) на продукты с различным содержанием сорго

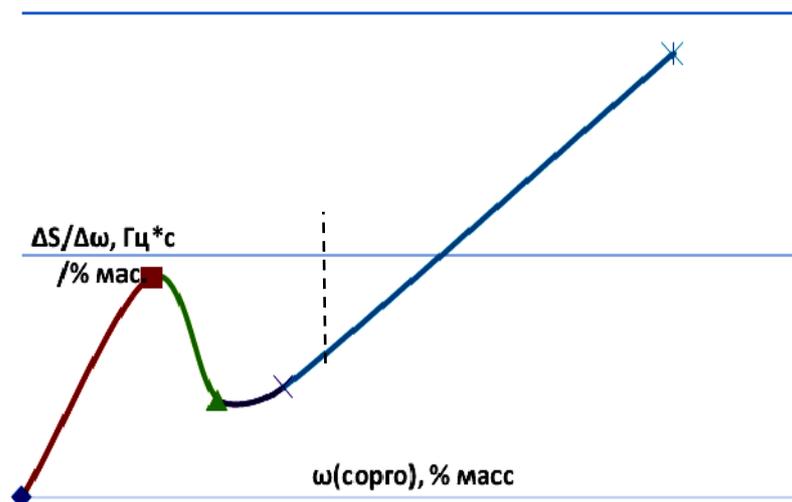


Рис. 4. Скорость изменения аромата пробы стандарта при внесении сиропа сорго в продукт

При внесении 4...10% масс. состав РФФ идентичен, что отражается на близкой форме кинетического «ВО». Учитывая результаты исследования можно сделать вывод о том, что для сохранения аромата исходного продукта (контроль), содержание сорго не должно превышать 3...3,5% масс. Содержание 4 и выше % масс. критично для аромата, при этом другие физико-химические показатели могут соответствовать регламенту.

Список использованных источников

1. Голубева, Л. В. Сироп сахарного сорго и пищевые волокна «Цитри-фай» в технологии обогащенного мягкого мороженого / Л. В. Голубева, Е. А. Пожидаева // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования : материалы XI Международного симпозиума. – Пушино, 2015. – С. 455 – 458.
2. Голубева, Л. В. Перспективы использования сахарного сорго в технологии мороженого функционального назначения / Л. В. Голубева, Е. А. Пожидаева, О. В. Пирогова, О. В. Журавлева // Современная наука: теория и практика : материалы I междунар. науч.-практ. конф. Сев-Кав. гос. технич. ун-т. – Ставрополь, 2010. – Т. 1. – С. 413–414.
3. Голубева, Л. В. Изучение реологических показателей мороженого с пищевой растительной добавкой / Л. В. Голубева, Е. А. Пожидаева, А. О. Дарьин // Современные достижения биотехнологии. Актуальные проблемы молочного дела : материалы V междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь, 2015. – С. 94 – 96.
4. Голубева, Л. В. Использование нетрадиционных компонентов при производстве молокосодержащих продуктов / Л. В. Голубева, О. И. Долматова // В книге: Пищевые технологии и биотехнологии : тез. докл. X Междунар. конф. молодых ученых, 2009. – С. 390.
5. Голубева, Л. В. Как обеспечить качество молокосодержащих консервов с сахаром в процессе хранения / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Е. И. Бочарова // Переработка молока. – 2012. – № 7(152). – С. 44 – 46.

References

1. Golubeva, L. V. Syrup sweet sorghum and dietary fiber “Zither-fi” in rich soft ice cream technology / L. V. Golubeva, E. A. Pozhidaeva // *New and nonconventional plants and prospects of their use : Materials of the XI International symposium.* – Pushchino, 2015. – P. 455 – 458.
2. Golubeva, L. V. Prospects of using sweet sorghum in ice cream technology functionality / L. V. Golubeva, E. A. Pozhidaeva, O. V. Pirogova, O. V. Zhuravleva // *Proceedings of the I International scientific-practical conference : Modern science: theory and practice North Cove. state. techn. Univ.* – Stavropol, 2010. – V. 1. – P. 413–414.
3. Golubeva, L. V. Studying rheology of ice cream with a food additive plant / L. V. Golubeva, E. A. Pozhidaeva, A. O. Darin // *Recent advances in biotechnology. Actual problems of the dairy business : Proceedings of the V International scientific and practical conference.* – Stavropol, 2015. – P. 94 – 96.
4. Golubeva, L. V. The use of non-traditional ingredients in the manufacture of milk-containing products / Golubeva L. V., Dolmatova O. I. // *In: Food technology and biotechnology : Abstracts of the X International Conference of Young Scientists, 2009.* – P. 390.
5. Golubeva, L. V. How to ensure the quality of the milk-cans and sugar in storage // L. V. Golubeva, O. I. Dolmatova, E. I. Bocharova / *Processing of milk.* – 2012. – № 7(152). – P. 44 – 46.

Потлов А. Ю., Проскурин С. Г., Фролов С. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ В ЗАДАЧАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РАСТЕНИЙ, ПЛОДОВ И СЕМЯН

Potlov A. Yu., Proskurin S. G., Frolov S. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

NON-DESTRUCTIVE TESTING OF AGRICULTURAL PLANTS, FRUITS AND SEEDS USING OPTICAL TOMOGRAPHY

Аннотация. Описаны перспективы использования оптической когерентной томографии (ОКТ) для неразрушающего контроля в сельском хозяйстве. Представлены программные и аппаратные усовершенствования позволяющие получать структурные ОКТ-изображения исследуемого биообъекта с повышенным качеством.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография, неразрушающий контроль, структурное изображение, сильно рассеивающая среда.

Abstract. The prospects of non-destructive testing in agriculture using optical coherence tomography (OCT) are described. The hardware and software improvements allowing to obtain high quality structural OCT images of biological object are presents.

Keywords: optical coherence tomography, non-destructive testing, structural image, turbid media.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – это метод исследования биологических объектов на глубину до 2...2,5 мм, основанный на регистрации и последующем анализе изменения интенсивности непрерывного излучения ближнего инфракрасного диапазона в процессе обратного когерентного отражения внутри биологической ткани [1]. Основным направлением использования ОКТ систем является медицинская диагностика, однако известны применения таких систем для неразрушающего контроля за качеством бумаги, тонких пленок, волокон, сельскохозяйственных продуктов [1 – 3].

Целесообразность использования ОКТ систем для неразрушающего контроля растений, плодов и семян связана с тем, что в эксплуатации он гораздо проще и удобнее, чем аналогичная установка для рентгеновского анализа [4]. При ОКТ диагностике, так же как и при цифровой рентгеновской диагностике не требуется предварительная подготовка образцов (возможна экспресс-диагностика) и используются относительно недорогие расходные материалы (чернила и бумага для печати изображений и заключений). Однако работа с рентгеновским оборудованием требует повышенных мер

безопасности подробно описанных в СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований», и включающих в себя значительные ограничения на конструкцию здания, материал и толщину стен, пола, потолка помещения, конструкцию окон и входной двери, расположение пульта управления и т.п. Помимо этого из-за очень высокого аксиального пространственного разрешения (1...15 мкм) в ОКТ возможно получение высококачественных цветных 2D и 3D структурных и даже доплеровских изображений, которые несут в себе гораздо больше полезной информации о внутреннем строении семени, чем рентгеновские снимки [5, 6].

ОКТ методики, как правило, основаны на применении схемы сканирующего интерферометра Майкельсона выполненного на базе одномодовых световодов. Внутреннюю структуру биообъекта восстанавливают с помощью селекции отраженного излучения по глубине, с которой это излучение пришло и определения степени отражения на этой глубине. С этой целью сравнивают волны с опорного плеча и с плеча образца [7]. Мы предлагаем следующую конструкцию опорного плеча (рис. 1).

Из одномодового световода излучение поступает в коллиматор, там оно преобразуется в параллельные лучи и попадает на дифракционную решетку, где происходит его разложение. Затем лучи фокусируются краем линзы и далее попадают на сканирующее зеркало. Отразившись от него, они проходят через центр линзы, опять разлагаются на дифракционной решетке и поступают на зеркало двойного прохода, отразившись от которого полностью возвращаются по тому же пути в световод. Возможность варьировать углами наклона сканирующего зеркала (угол α), фокусирующей линзы (угол β) и дифракционной решетки (угол γ) позволяет максимально эффективно регулировать процесс сканирования [7].

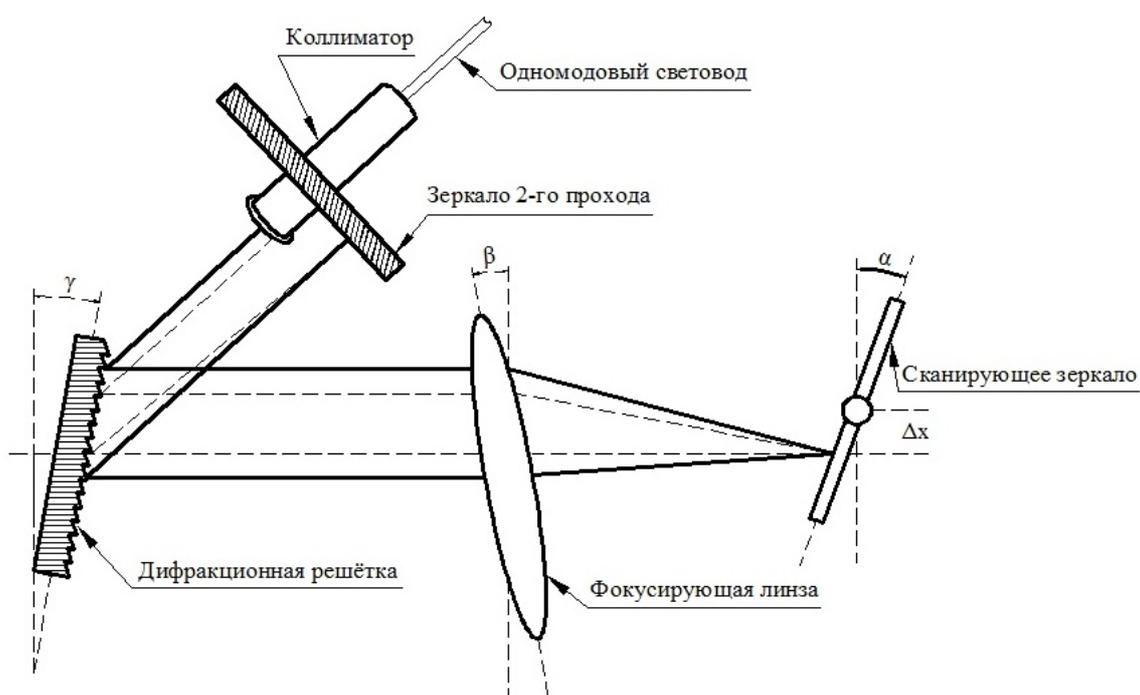


Рис. 1. Структурная схема опорного плеча

При использовании в опорном плече интерферометра оптической линии задержки (ОЛЗ) основанной на дифракционной решетке и угловом сканировании зеркала – RSOD (Rapid-scanning Optical Delay) полоса пропускания фильтра усилителя сигнала, Δf , увеличивается в четыре раза. Соотношение для f_o – несущей частоты ОЗЛ тоже меняется:

$$f_o = \frac{4\Delta x}{\lambda} \frac{d\alpha}{dt}.$$

Здесь Δx – смещение оси сканирующего зеркала, λ – длина волны излучения СЛД; $d\alpha/dt$ – угловая скорость сканирования зеркала.

Кроме этого уменьшение размеров и фокусных расстояний модифицированной RSOD позволило существенно снизить интенсивность источника излучения, СЛД, что привело к уменьшению соотношения сигнал/шум (С/Ш) на 5...8 дБ. Растровое сканирование и последовательное растровое усреднение в плече образца дало дополнительное уменьшение соотношения С/Ш на 4...10 дБ. Это впервые позволило увеличить глубину когерентного зондирования кожи человека до 1,5...1,7 мм, что позволило визуализировать подкожные кровеносные сосуды человека диаметром ~ 1 мм [8].

Авторский алгоритм получения высококачественных структурного изображения в ОКТ приведен на рис. 2. Первым этапом программной обработки является фильтрация сигнала с помощью полосового фильтра Баттерворта 3-го порядка. Затем выполняется разбиение интерференционного сигнала на одинаковые по длительности сегменты и пороговая фильтрация каждого сегмента [7 – 9].

Следующим этапом обработки сигнала является использование быстрого преобразования Фурье к каждому сегменту. Так как разность хода плеч сканирующего интерферометра меняется непрерывно при сканировании оптической линии задержки в опорном плече, теоретически окно преобразования Фурье, должно также смещаться непрерывно, т.е. на одну точку, но это делает обработку сигнала довольно долгой, порядка нескольких минут. Эмпирически было показано, что обработка сигнала с фиксированным сдвигом окна на 70...80% дает такой же контраст изображения как и с непрерывным сдвигом. Производится выделение и логарифмирование огибающей спектрального сигнала, полученного в результате Фурье-преобразования каждого сегмента [8].

Выполняются растровые усреднения для соседних столбцов и строк изображения. В зависимости от способа контроля над построением изображения: по усреднению или по сжатию, для расчетов используются разные аналитически выведенные автором формулы. Количество усредняемых в один столбцов определяется в зависимости от числа А-сканов, и для 900 А-сканов составляет 3-10. Число усредняемых в одну строку определяется в зависимости от глубины зондирования и чаще всего составляет 2-3. В результате усреднений увеличивается контраст изображения и уменьшается уровень шумов. Для подавления аддитивного и импульсного шумов на изображении производится обработка медианным фильтром [9].

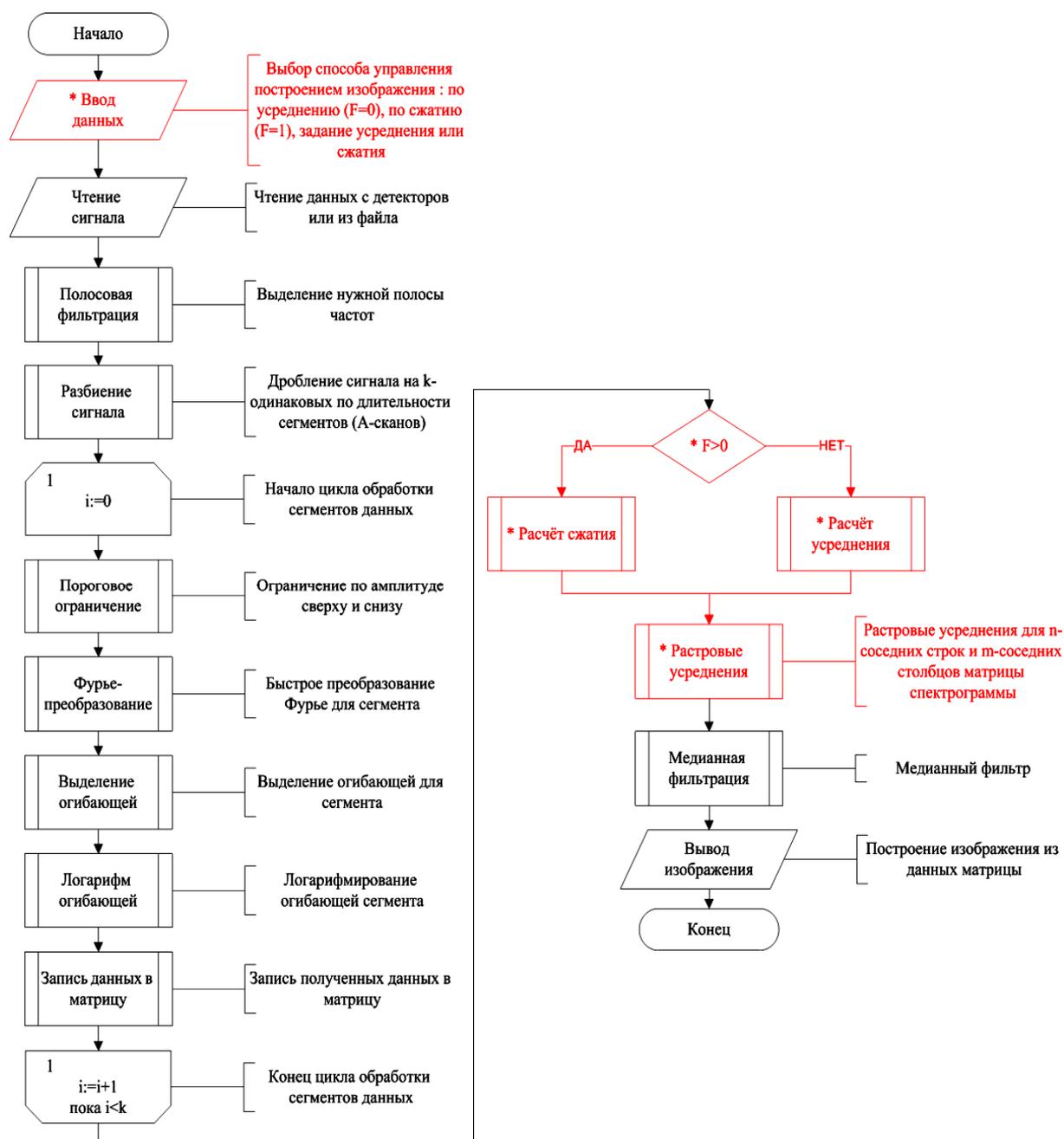


Рис. 2. Алгоритм получения структурного изображения в ОКТ

Предлагаемые программные и аппаратные усовершенствования позволяют получать структурные изображения биообъекта высокого качества. Это, в первую очередь, связано с почти полным устранением фонового шума и сильным снижением спекл шумов. На рисунке 3 приведено структурное изображение ногтя человека *in vivo do* (рис. 3, а) и после (рис. 3, б) программного усреднения. Размер изображения $2 \times 2 \text{ мм}^2$.

Время компьютерной обработки интерференционного сигнала из 180 А-сканов составляет от 0,5 с (простое построение структурного изображения) до 3 с (построение структурного изображения с наложением аппаратных и программных фильтров, специальных масок, применением растровых усреднений и т.п.).

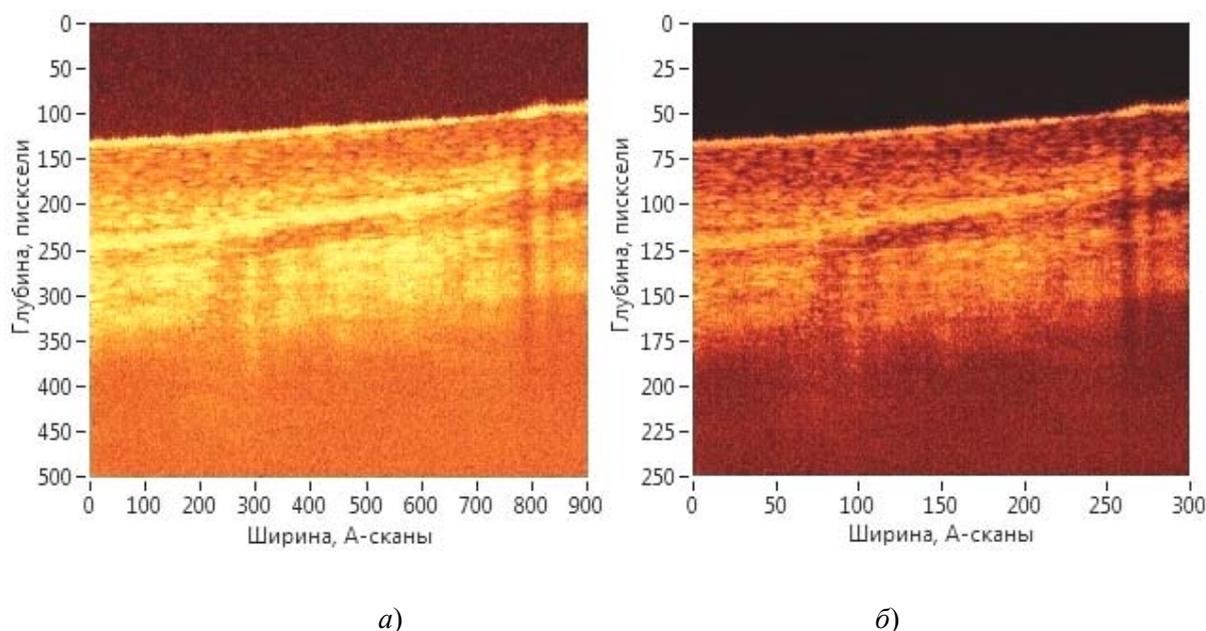


Рис. 3. Структурное ОКТ изображение ногтя человека:

а – до усреднений; *б* – после 3-х усреднений по столбцам и 2-х по строкам

Таким образом, описанная в работе усовершенствованная ОКТ система, по быстродействию и качеству получаемых структурных изображений пригодна для задач неразрушающего контроля растений, плодов и семян.

Список использованных источников

1. Zimnyakov, D. A. Optical tomography of tissues / D. A. Zimnyakov, V. V. Tuchin // Quantum Electronics. – 2002. – V. 32. – Is. 10. – P. 849 – 867.
2. Lee, S.-Y. Application of optical coherence tomography to detect Cucumber green mottle mosaic virus infected cucumber seed / S.-Y. Lee, C. Lee, J. Kim, H.-Y. Jung // Research Report Tissue Culture/Biotechnology Horticulture, Environment, and Biotechnology. – 2012. – V. 53. – 2004. – Is. 5. – P. 428 – 433.
3. Clements, J. C. Optical coherence tomography as a novel tool for non-destructive measurement of the hull thickness of lupin seeds / J. C. Clements, A. V. Zvyagin, K. K. M. B. D. Silva, T. Wanner, D. D. Sampson, W. A. Cowling // Plant Breeding. – 2004. – V. 123. – Is. 3. – P. 266 – 270.
4. Lee, C. Optical Sensing Method for Screening Disease in Melon Seeds by Using Optical Coherence Tomography / C. Lee, S.-Y. Lee, J.-Y. Kim, H.-Y. Jung, J. Kim // Sensors (Basel). – 2011. – V. 11. – Is. 10. – P. 9467 – 9477.
5. Chuanmao, F. 3D imaging of tomato seeds using frequency domain optical coherence tomography / F. Chuanmao, Y. Gang // Proceedings of SPIE. – 2012. – V. 8369. – P. 83690F.
6. Loeb, G. Imaging botanical subjects with optical coherence tomography: a feasibility study / G. Loeb, J. K. Barton // Transactions of the ASAE. – 2003. – V. 46. – Is. 6. – P. 1751 – 1757.
7. Proskurin, S. G. K. One specific velocity visualization in flows with complex geometry / S. G. Proskurin, R. K. Wang // Proceedings of SPIE. – 2005. – V. 5696. – P. 129 – 135.

8. Proskurin, S. G. Doppler mapping of an alternating-sign flow with a complex structure using optical coherence tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // *Quantum Electronics*. – 2014. – V. 44. – Is. 1. – P. 54 – 58.

9. Proskurin, S. G. One specific velocity color mapping using optical coherence tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // *Journal of Biomedical Optics*. – 2015. – V. 20. – Is. 5. – P. 051034.

References

1. Zimnyakov, D. A. Optical tomography of tissues / D. A. Zimnyakov, V. V. Tuchin // *Quantum Electronics*. – 2002. – V. 32. – Is. 10. – P. 849 – 867.

2. Lee, S.-Y. Application of optical coherence tomography to detect Cucumber green mottle mosaic virus infected cucumber seed / S.-Y. Lee, C. Lee, J. Kim, H.-Y. Jung // *Research Report Tissue Culture/Biotechnology Horticulture, Environment, and Biotechnology*. – 2012. – V. 53. – 2004. – Is. 5. – P. 428 – 433.

3. Clements, J. C. Optical coherence tomography as a novel tool for non-destructive measurement of the hull thickness of lupin seeds / J. C. Clements, A. V. Zvyagin, K. K. M. B. D. Silva, T. Wanner, D. D. Sampson, W. A. Cowling // *Plant Breeding*. – 2004. – V. 123. – Is. 3. – P. 266 – 270.

4. Lee, C. Optical Sensing Method for Screening Disease in Melon Seeds by Using Optical Coherence Tomography / C. Lee, S.-Y. Lee, J.-Y. Kim, H.-Y. Jung, J. Kim // *Sensors (Basel)*. – 2011. – V. 11. – Is. 10. – P. 9467 – 9477.

5. Chuanmao, F. 3D imaging of tomato seeds using frequency domain optical coherence tomography / F. Chuanmao, Y. Gang // *Proceedings of SPIE*. – 2012. – V. 8369. – P. 83690F.

6. Loeb, G. Imaging botanical subjects with optical coherence tomography: a feasibility study / G. Loeb, J. K. Barton // *Transactions of the ASAE*. – 2003. – V. 46. – Is. 6. – P. 1751 – 1757.

7. Proskurin, S. G. K. One specific velocity visualization in flows with complex geometry / S. G. Proskurin, R. K. Wang // *Proceedings of SPIE*. – 2005. – V. 5696. – P. 129 – 135.

8. Proskurin, S. G. Doppler mapping of an alternating-sign flow with a complex structure using optical coherence tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // *Quantum Electronics*. – 2014. – V. 44. – Is. 1. – P. 54 – 58.

9. Proskurin, S. G. One specific velocity color mapping using optical coherence tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // *Journal of Biomedical Optics*. – 2015. – V. 20. – Is. 5. – P. 051034.

УДК 613.288

ББК $\frac{Л80-1}{Ж-86}$

Жуков Н. П., Майникова Н. Ф., Трофимов Д. В.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТАВА ЖИРОВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Zhukov N. P., Mainikova N. F., Trofimov D. V.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

THE MEASURING SYSTEM OF QUALITY CONTROL OF FATS IN THE FOOD INDUSTRY

Аннотация. Представлено описание мобильной измерительной системы, позволяющей неразрушающим способом определять значения температуры плавления и застывания жиров растительного и животного происхождения в целях их идентификации. Способ основан на регистрации скорости нагрева (остывания) от времени и значения температуры образца. При нагревании (остывании) жиров значения скорости изменяются аномально в области фазовых переходов. Проведена экспериментальная проверка работоспособности измерительной системы на нескольких образцах.

Ключевые слова: жиры; измерительная система; неразрушающий контроль качества; температура застывания; температура плавления.

Abstract. The paper describes a mobile measuring system permitting a nondestructive method to determine the value of the melting and solidification temperature of fats of vegetable and animal origin for the purpose of their identification. The method is based on recording the rate of heating (cooling) on time and temperature of the sample. Under heating (cooling) of fats the values of heating rate vary abnormally in the phase transition. An experimental verification of the working capacity of the measuring system on several samples has been done.

Keywords: chilling temperature; fats; measuring system; melting temperature; non-destructive control of quality.

Повышение безопасности продуктов питания и предотвращение попадания на продовольственный рынок фальсифицированной и некачественной продукции обусловили необходимость совершенствования методов анализа с целью повышения их точности, адаптации известных методов к объектам продовольственной направленности, а также разработки новых экспресс-методик [1].

К наиболее ранним и широко распространенным способам определения качества продовольственного сырья и пищевых продуктов относится сенсорная (органолепти-

ческая) оценка, проводимая с помощью органов чувств человека. Однако более достоверными являются инструментальные (измерительные) методы анализа. Различают: классические и современные инструментальные методы. К классическим методам относят: гравиметрические, метод титрования и др. Современные измерительные методы отличаются от классических более высокой чувствительностью, меньшими затратами времени на проведение испытаний. Однако для реализации этих методов часто требуются хорошо оборудованные испытательные лаборатории и высококвалифицированный персонал, что существенно увеличивает затраты на исследования. К наиболее распространенным современным измерительным методам относят хроматографический, спектральный, тепловой, рефрактометрический, реологический анализ и др. [1, 2].

Известно, что температура плавления жиров имеет большое практическое значение в технологических процессах для контроля процесса гидрогенизации жиров, контроля качества сырья и потребительских свойств готовой пищевой продукции. Температура плавления является константой, очень чувствительной к примесям, поэтому по значению температуры плавления можно провести идентификацию жира и определить степень его чистоты [2].

На предприятиях пищевой промышленности значения температуры плавления определяются в ручном режиме.

Известен четырехканальный автоматический измеритель температуры застывания жира. Измеритель содержит четыре сосуда Жукова со встроенными датчиками температуры, которые подключены к компьютеру [3]. Основными преимуществами автоматизированных приборов являются: возможность определения качества жира по кривой расплавления; автоматизация измерения; отсутствие субъективной погрешности анализа; возможность документирования полученных результатов.

В Тамбовском государственном техническом университете разработан лабораторный вариант измерительной системы (ИС), позволяющей реализовывать метод неразрушающего теплового контроля структурных переходов в полимерных материалах [4 – 6].

Применительно к идентификации жиров в продуктах питания разработаны метод и мобильный вариант ИС, схема которой представлена на рис. 1.

ИС состоит из персонального компьютера (ПК), измерительно-управляющей платы, измерительного зонда (ИЗ), блока управления и питания (БУП). ИЗ обеспечивает тепловое воздействие на объект с помощью плоского круглого нагревателя (Н). Регистрируется зависимость температуры от времени. Мощность и длительность теплового воздействия задаются программно. Регулирующий сигнал поступает с цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) платына вход блока БУП, где усиливается и подается на полевой транзистор, который в зависимости от регулирующего сигнала изменяет напряжение так, чтобы нагреватель выделил требуемую мощность.

ИЗ устанавливают контактной стороной на поверхность исследуемого объекта, температура на поверхности которого контролируется ТП.

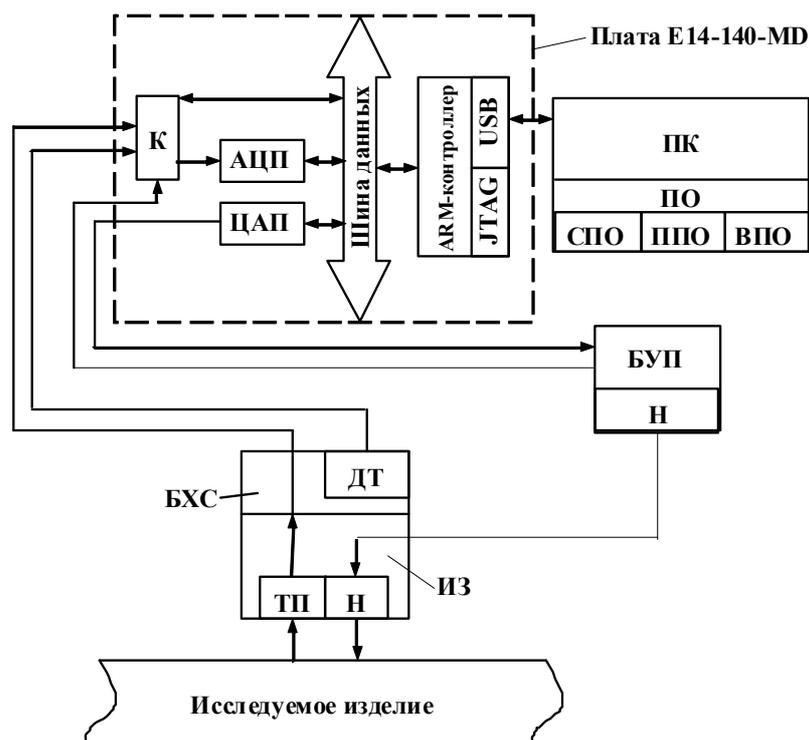


Рис. 1. Схема измерительной системы:

ПО – программное обеспечение; СПО, ППО, ВПО – системное, прикладное и вспомогательное программное обеспечения; БХС – блок холодных спаев; ДТ – датчик температуры; ТП – термоэлектрический преобразователь

Сигнал с ТП поступает через коммутатор (К) на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) платы E14-140-MD. Фиксирование температуры в заданной точке контроля осуществляется термоэлектрическим преобразователем (ТП). ИС реализует алгоритмы управления режимами теплофизического эксперимента, определения значений температуры плавления и застывания жиров [4 – 6]. Определение температурных точек плавления жиров осуществляется неразрушающим способом по кривым изменения скорости нагрева от температуры. Это может служить признаком, например, для решения вопроса о типе мяса, так как по точке плавления жира можно легко отличить конину от говядины.

Возможно, также выявить наличие растительных масел (например, пальмового масла) в составе продукта. Известно, что пальмовое масло имеет температуру плавления, которая существенно выше температуры человеческого организма. В ГОСТ Р 53776–2010 для пальмового масла, предназначенного для пищевой промышленности, указан диапазон 33...39 °С, что позволяет фальсифицировать продукт, смешивая с пальмовым маслом пальмовый стеарин, и поднимать температуру плавления до верхних значений. Так, при температуре плавления нерафинированного пальмового масла 35,6 °С температура плавления пальмового масла, подготовленного для экспорта, была 39,2 °С. Реально температура плавления импортируемого в РФ пальмового масла достигала 42,7 °С [7].

Применение масел-заменителей вместо масла какао, различных кондитерских жиров вместо молочного жира, должно быть указано на этикетках готовой пищевой продукции, оговорено технологическими регламентами и, соответственно, должно сказываться на конечной цене продукта. При оценке качества сыров, мясной, масложировой, кондитерской продукции, детского питания, следует знать их состав и исключать фальсифицирование.

ИС позволяет определять также значения теплофизических свойств исследуемых объектов, фиксировать плавление и застывание жира не только по изменениям скорости изменения температуры, но и по аномалиям теплофизических свойств [4 – 6]. ИС выполнена в виде портативного мобильного прибора, что позволяет проводить НК мяса, сыров, кондитерских изделий и других пищевых продуктов в полевых условиях (цех предприятия, склад). Получена математическая модель и разработано программное обеспечение ИС, реализующие тепловой метод НК. Применение мобильного варианта ИС, реализующего неразрушающий способ, существенно удешевляет и упрощает анализ.

Для демонстрации работоспособности ИС получены результаты теплофизических испытаний следующих пищевых продуктов – жира говядины (рис. 2), сыра (рис. 3), шоколада, ряда образцов детского питания и др.

На рисунке 2 представлены зависимости скорости изменения температуры в центре круглого плоского нагревателя (в виде диска диаметром 4 мм), отнесенные к значению температуры в центре нагревателя при тепловом воздействии на поверхность объекта исследования – мяса говядины.

Зафиксирован процесс плавления жира при 45 °С. Это позволяет идентифицировать данный вид жира.

На рисунке 3 представлены зависимости скорости изменения температуры в центре круглого плоского нагревателя, встроенного в подложку зонда из теплоизолятора, отнесенные к значению температуры в центре нагревателя при тепловом воздействии на поверхность оболочки объекта исследования – сыра.

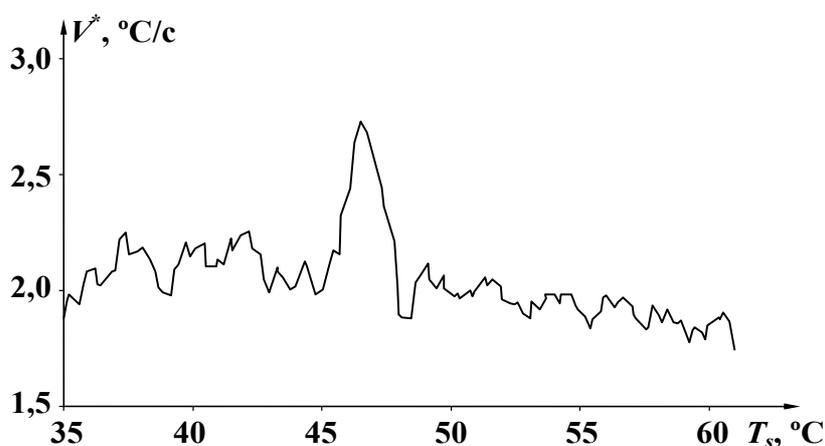


Рис. 2. Зависимость $V^* = f(T_s)$. Объект испытаний – мясо говядины



Рис. 3. Зависимость $V = f(T)$. Объект испытаний – сыр в парафинизированной оболочке

Для испытаний использован измерительный зонд с круглым плоским нагревателем постоянной мощности и подложкой из политетрафторэтилена.

Зафиксированы процессы плавления молочного жира и эндотермические твердофазные переходы в подложке зонда (19,6 и 30 °C). Выявлен процесс плавления (при 40 °C) заменителя молочного жира (пальмового масла), заявленного производителем. При температуре 48...52 °C зафиксировано плавление пищевого парафина, входящего в состав оболочки сыра.

Другие известные способы не позволяют экспрессно определять значения температуры плавления жиров неразрушающим способом. Данная модификация измерительной системы выполнена в виде мобильного варианта, что позволяет проводить испытания в полевых условиях. Применение мобильного варианта ИС, реализующего неразрушающий способ, существенно удешевляет и упрощает применение экспресс-анализа.

Список использованных источников

1. Ухарцева, И. Ю. Методы исследования продовольственного сырья и пищевых продуктов и опыт их применения / И. Ю. Ухарцева, Ж. В. Кадолич, Л. В.Ткачева // Потребительская кооперация. – № 1(44). – 2014. – С. 66 – 72.
2. Технологический контроль жиров и жирозаменителей: учебное пособие / под ред. О. Б. Рудакова. – СПб. : Лань, 2011. – 576 с.
3. Четырехканальный измеритель температуры застывания жира (электронный ресурс). – Режим доступа : http://td-izmerenie.ru/analit_control/control/ (дата обращения: 25.05. 2016).

4. Жуков, Н. П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий: монография / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова. – М. : Издательство Машиностроение-1, 2004. – 288 с.

5. Жуков, Н. П. Методы и средства неразрушающего теплового контроля структурных превращений в полимерных материалах: монография / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, С. В. Мищенко, И. В. Рогов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», – 2012. – 320 с.

6. Жуков, Н. П. Измерительно-вычислительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 4. – С. 164 – 166.

7. Золочевский, В. Г. Стандарт на пальмовое масло: за и против // Масла и жиры. – 2011. – № 7. – С. 22 – 24.

References

1. Uhartseva, I. U. The research methods of raw food and food products and their application experience / I. U. Uhartseva, G. V. Kadolich, L. V. Tkacheva // The Consumer Cooperation Society. – N 1(44). – 2014 – P. 66 – 72.

2. Rudakov, O. B. (Ed.) Process control fat and fat substitutes. – St. Petersburg : Lan', 2011. – 576 p.

3. The four channel meter of temperature of hardening fats (electronic resource). – The access mode: http://td-izmerenie.ru/analit_control/control/control_.html (accessed 25 May 2016).

4. Zhukov, N. P. The multi-model methods and means of non-destructive check of thermal properties of materials and products: monograph / N. P. Zhukov, N. F. Mainikova. – Publishing Engineering-1, 2004. – 288 p.

5. Zhukov, N. P. Methods and tools for non-destructive thermal control of structural-transformations in polymeric materials / N. P. Zhukov, N. F. Mainikova, I. V. Rogov, S. V. Mishchenko. – Tambov : Izdatel'stvo FGBOU VPO “TGTU”, 2012. – 320 p.

6. Zhukov, N. P. Measuring-calculating system of nondestructive check of thermal physic properties / N. P. Zhukov, N. F. Mainikova // The instruments and techniques of experiment. – 2005. – N 4. – P. 164 – 166.

7. Zolochevsky, V. G. The standard of palm oil: for and against// Oils and Fats – 2011. – N 7. – P. 22 – 24.

УДК 53.082.36
ББК 34.39-03я73

Медведева А. В., Мордасов Д. М., Мордасов М. М.
Тамбовский государственный технический университет
(Россия, г. Тамбов)

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Medvedeva A. V., Mordasov D. M., Mordasov M. M.
Tambov State Technical University
(Russia, Tambov)

AERODYNAMIC METHOD OF MEASUREMENT OF DENSITY OF METAL POWDERS

Аннотация. Рассмотрен аэродинамический метод измерения плотности металлических порошков, заключающийся в использовании эффектов, возникающих при струйном взаимодействии газа на слой металлического порошка, помещенного в измерительную емкость. Получено математическое описание, положенное в основу метода контроля объемной плотности порошков.

Ключевые слова: металлический порошок, объемная плотность, псевдооживление, аэродинамический.

Abstract. The aerodynamic method of measurement of density of metal powders consisting in use of the effects arising at jet interaction of gas on a layer of the metal powder placed in measuring container is considered. The mathematical description which is been the basis for method of measuring the bulk particle density of powders is received.

Keywords: metalpowder, bulk particle density, fluidization, aerodynamic.

Среди большого разнообразия существующих способов обработки металлов порошковая металлургия занимает особое место, так как позволяет получать не только изделия различных форм и назначений, но и создавать принципиально новые материалы, получение которых другим путем практически невозможно. Порошковая металлургия относится к методам, в которых коэффициент использования материала приближается к 1.

Основными преимуществами использования порошковых технологий являются:

- снижение затрат на механическую обработку, которая в большинстве случаев не требуется;
- использование энерго- и ресурсосберегающих технологий (уменьшение количества технологических операций, использование более 97% исходного сырья, реализация многих последующих сборочных этапов на стадии спекания;

- получение изделий с уникальными свойствами, использование многокомпонентных смесей, объединение металлических и неметаллических компонентов, получение изделий различной пористости (фильтры) с регулируемой проницаемостью, подшипников скольжения с эффектом самосмазывания;
- более высокие технические, эксплуатационные и экономические характеристики изделий;
- возможность изготовления изделий сложной формы, обеспечение прецизионного производства.

На формирование свойств готового изделия значительное влияние оказывают свойства исходных порошков, к которым относятся форма, размеры, гранулометрический состав частиц, их удельная поверхность, плотность и микротвердость. Особое место среди всех показателей занимает плотность порошка, определяющая как его физические свойства, так и технологические.

Технологические свойства порошка определяются текучестью, прессуемостью, формуемостью порошка, а также его насыпной плотностью. При определении плотности как физического свойства порошка определяют плотность частиц порошка. Если измерение насыпной плотности не вызывает затруднений, то определение плотности частиц неоднозначно и, в значительной мере зависит от дефектов кристаллической решетки материала, наличия в нем примесей, закрытых пор и других причин, вызывающих отличие измеренной плотности от теоретической.

Наиболее распространенным методом определения плотности частиц является пикнометрический, основанный на жидкостном замещении объема газового пространства между частицами и в их открытых порах. По известному объему пикнометрической жидкости и результатам определения масс сухого порошка и порошка с жидкостью определяют плотность частиц порошка (пикнометрическую). Наибольшее отклонение плотности частиц от теоретической наблюдается у восстановленных порошков из-за наличия у них микропор, полостей и остаточных оксидов. Точность метода жидкостного замещения (пикнометрического) во многом определяется свойствами пикнометрической жидкости, ее проникающей способностью. К чистым жидкостям, применяющимся в качестве пикнометрических, обладающим наименьшим поверхностным натяжением, относятся этиловый спирт и керосин. Однако применение данных жидкостей осложняется высокой скоростью их испаряемости, а также пожаро- и взрывоопасностью.

Перспективным, с точки зрения повышения точности измерения плотности частиц порошков, является использование методов, основанных на взаимодействии газа с исследуемым материалом [1, 2]. Проникающая способность воздуха в 10 раз выше проникающей способности керосина и в 40 раз выше проникающей способности воды, что существенно снижает погрешность измерений и позволяет более точно выявлять и исключать из рассмотрения открытую пористость порошка.

В работе исследован аэродинамический метод измерения плотности, основанный на непрерывном струйном воздействии газа на слой металлического порошка (МП) с получением псевдооживленного слоя. Физическая сущность метода заключается в том,

что, если слой порошка, помещенного в измерительную емкость, воздействовать потоком газа, то состояние слоя оказывается различным в зависимости от скорости газа.

Фильтрационный перенос газа через слой сыпучего материала при ламинарном режиме течения описывается уравнением Дарси:

$$Q = \frac{\Delta P_1 S}{h_0 \mu} K, \quad (1)$$

где Q – объемный расход газа, м³/с; ΔP_1 – перепад давления на неподвижном слое МП, Па; S – площадь поперечного сечения емкости с МП, м²; h_0 – высота неподвижного слоя МП, м; μ – динамическая вязкость газа, Па·с; K – проницаемость, м².

Для учета свойств среды при оценке проницаемости использована гипотеза Козени-Кармана в соответствии с которой, для подчиняющегося закону Дарси потока газа, проницаемость пористой среды характеризуется соотношением:

$$K = \frac{\varepsilon_0^3}{(1 - \varepsilon_0)^2} \frac{d_{\text{ч}}^2}{120}, \quad (2)$$

где ε_0 – порозность (концентрация газовой фазы) неподвижного слоя сыпучего материала; $d_{\text{ч}}$ – средний диаметр частиц порошка, м.

Основное кинетическое уравнение процесса фильтрации газа через слой порошка (1) с учетом (2) примет вид:

$$Q = \frac{\Delta P_1 S}{h_0 \mu} \frac{\varepsilon_0^3 d_{\text{ч}}^2}{120(1 - \varepsilon_0)^2}, \quad (3)$$

Представим выражение (3) в виде

$$\frac{(1 - y)^3}{y^2} = x, \quad (4)$$

где $y = 1 - \varepsilon_0$, $x = \frac{120}{d_{\text{ч}}^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S}$.

Проведем аппроксимацию зависимости (4) функцией вида $y = \frac{a + cx}{1 + bx}$

$$y = \frac{0,741 + 0,423x}{1 + 1,737x}, \quad 0,3 \leq \varepsilon_0 \leq 0,8.$$

Объемную плотность СМ ρ_v определим в виде

$$\rho_v = \frac{\rho_n}{1 - \varepsilon_0} = \frac{\Delta P_2}{gh_0(1 - \varepsilon_0)} = \Delta P_2 \left(1 + \frac{208,44}{d_{\text{ч}}^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right) / gh_0 \left(0,741 + \frac{50,76}{d_{\text{ч}}^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right), \quad (5)$$

где ρ_n – насыпная плотность, кг/м³.

Таким образом, методика измерения плотности металлического порошка заключается в том, что на вход измерительной емкости, заполненной металлическим порошком до фиксированного уровня h_0 , подается поток газа; в режиме фильтрования измеряется

расход газа Q и соответствующий ему перепад давления ΔP_1 на слое, а также перепад давления ΔP_2 в момент начала псевдооживления; на основе полученных значений h_0 , Q , ΔP_1 и ΔP_2 по формуле (5) определяется плотность порошка.

Экспериментальные исследования, проведенные с использованием металлических порошков марок ПМС-1, ПЖРВ 2.200.26 и ПОЭ показали работоспособность аэродинамического метода контроля плотности металлических порошков. Погрешность измерения плотности не превысила 5%.

Разработанный метод отличается простотой реализации и может быть использован для экспресс-измерений плотности порошковых материалов.

Список использованных источников

1. Мордасов, Д. М. Технические измерения плотности сыпучих материалов / М. М. Мордасов, Д. М. Мордасов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 80 с.
2. Медведева, А. В. Аэродинамическое измерение пористости веществ / А. В. Медведева, Д. М. Мордасов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 4 – 42. – С. 329 – 334.

References

1. Mordasov D. M. Technical measurement of the density of granular materials / M. M. Mordasov, D. M. Mordasov. – Tambov : Publishing house of Tamb. GOS. tehn. University press. – 2004. – 80.
2. Medvedeva, A. V. Measurement of the Aerodynamic porosity of the substance / the A.V. Medvedeva, D. M. Mordasov // Questions of modern science and practice. University. V. I. Vernadsky. – 2012. – N 4 – 42. – P. 329 – 334.

Научное электронное издание

**В. И. ВЕРНАДСКИЙ:
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ**

Материалы Международной научно-практической конференции

ТОМ 3

Компьютерное макетирование И. В. Евсеевой

ISBN 978-5-8265-1636-2 (т. 3)



Подписано к использованию 25.11.2016

Тираж 100 шт. Заказ № 478

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВО «ТГТУ»

392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Телефон (4752) 63-81-08, 63-81-33.

E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru