

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

# **РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ И КОНТРОЛЕ: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ**

*Сборник научных трудов V Международной конференции  
школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых*

В трех томах

Том 1

**3–8 октября 2016**

Томск 2016

УДК 658.18 (063)

ББК У9(2)0-87л0

Р44

**Р44 Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее** : сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых. В 3 томах. Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 256 с.

В сборнике представлены материалы V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее». Более 500 участников из 42 вузов, предприятий и научных исследовательских университетов России, ближнего и дальнего зарубежья представили тезисы своих докладов, в которых рассматриваются актуальные проблемы неразрушающего контроля и технической диагностики, внедрения систем менеджмента, качества образования, управления в современной экономике.

Материалы предназначены для специалистов, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, а также для всех интересующихся проблемами ресурсоэффективных технологий.

**УДК 658.18 (063)**

**ББК У9(2)0-87л0**

**Материалы предоставлены в авторской редакции**

Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ  
Грант РФФИ № 16-37-10393 мол\_г

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2016

© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2016

**СЕКЦИЯ 1: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ .....</b>	<b>3</b>
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ <i>Абдрахманов А.Б., Тимофеева Е.К.</i> .....	10
ПРОЕКТ АЗС В ГЛУБОКОВСКОМ РАЙОНЕ, ВКО <i>Айткалиев Г.Т.</i> .....	14
СВЧ ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА <i>Аникин А.В.</i> .....	18
ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИЛЬЗ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ <i>Архиреев А.Г., Буслаев С.В., Нахлесткин А.А.</i> .....	22
ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ МЕТЕОРНОГО СЛЕДА <i>Ахметова А.Р.</i> .....	26
ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ <i>Батенков К.А.</i> .....	30
ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ НАКИМ НА ОСНОВЕ МИНИМУМА ИЗМЕРЯЕМОГО ПРОСТРАНСТВА <i>Балаев А.Ф., Захаров О.В., Яковичин А.С.</i> .....	32
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ЧАСТИЦАМИ САЖИ ПРИ ЛЕСНОМ ПОЖАРЕ <i>Белькова Т.А.</i> .....	38
МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ <i>Бессонов Н.С., Спасенко В.С., Глиненко Е.В., Хайруллин А.Р.</i> .....	42
ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ: АНАЛИЗ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ <i>Белянков В.Ю., Гольдштейн А.Е.</i> .....	44
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ ОТ НЕРАСТВОРЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ЗАТОПЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ ЗАКРЫТЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ <i>Бондарева Л.В.</i> .....	48

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО ПРОФИЛОМЕТРА <i>Бугаев Е.А., Федоров Е.М., Плетнев А.О.</i> .....	50
ОПТИМИЗАЦИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ИНДУКТОРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ <i>Будько А.А., Васильева О.В.</i> .....	54
НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ В ПРОТЕЗИРОВАНИИ <i>Ворона Р.С.</i> .....	58
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦЕССИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ <i>Глиненко Е.В., Мельнов К.В., Хайруллин А.Р.</i> .....	61
ВЛИЯНИЕ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ НА БИОХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ЗАКВАСКИ <i>Гуробазарова С.Б.</i> .....	63
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ <i>Гусаров Д.Е., Кузнецов Н.Е.</i> .....	69
ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА БЕНЗИНА <i>Гусева Е.И.</i> .....	72
ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ЯМР <i>Ершов А.В., Верпета М.Я.</i> .....	75
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ZETLAB ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ КАФЕДРЫ «ПРИБОРОСТРОЕНИЯ» КАРГТУ <i>Жантуганова Т.С.</i> .....	78
ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ <i>Жмурова Т.М.</i> .....	81
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОВЕСНОГО РАДИУСА БЕТАТРОНА ЧЕРЕЗ РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ <i>Затонов И.А.</i> .....	84
НАНОСЕНСОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ <i>Зубрилова М.В.</i> .....	87

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФРОНТА ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА С ПРОТИВОПОЖАРНЫМИ РАЗРЫВАМИ В СОПРЯЖЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ <i>Иванова М.В.</i> .....	90
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВЁРТКОЙ СПЕКТРА ДИФРАКЦИОННОГО МОНОХРОМАТОРА С ПОМОЩЬЮ ПРЕЦИЗИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ <i>Игнатъев В.С.</i> .....	94
ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПОД УГЛОМ <i>Камышева Е.Н.</i> .....	98
ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОСИГНАЛИЗАТОРОВ И ПРИНЦИП РАБОТЫ <i>Киселева М.С., Сиротьян Е.В.</i> .....	101
АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛАЗЕРНОГО ТРЕХКООРДИНАТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДИАМЕТРА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ <i>Коба А.А.</i> .....	103
СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ <i>Кузнецова Т.А.</i> .....	109
КОНТРОЛЬ СОСТАВА СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ <i>Кузнецова А.Н., Кузнецова О.В.</i> .....	112
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ <i>Липчанский Д.С., Мелков Д.Н., Варлачева Н.В.</i> .....	115
ОСОБЕННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ЛИЧНОГО СОСТАВА МЧС РОССИИ ПО ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Лиховодова Ю.Н., Назметдинова Д.Г.</i> .....	119
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ИСПАРЯЮЩИХСЯ ЧАСТИЦ В ИСПАРИТЕЛЬНОМ РЕАКТОРЕ <i>Марзаева В.И.</i> .....	122
РАЗРАБОТКА МАКЕТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ USB-SPI ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДМТ-419 НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА АТМЕГА8 <i>Мерзляков А.В.</i> .....	124

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ УУКМ ПРИ ПОМОЩИ ДЕТЕКТОРНОЙ МАТРИЦЫ SHADO-O-BOX <i>Монич Н.В.</i> .....	127
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОДЫ В СОТОВЫХ ПАНЕЛЯХ САМОЛЕТОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ <i>Московченко А.И.</i> .....	135
ГОРНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА КАК ИСТОЧНИК ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ <i>Мурзин М.А.</i> .....	139
ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАЗОРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ГЛУБИНЫ ДЕФЕКТА ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ <i>Мэн Цинъян</i> .....	143
КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТОВ КОЛЕС В ДВИЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИИ <i>Никитина А.И.</i> .....	147
КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ НАГНЕТАНИЯ СКВАЖИНЫ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ <i>Однокопылов И.Г., Карнов М.С.</i> .....	150
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МИКРОФЛЮИДНОГО УСТРОЙСТВА <i>Павлик Н.Б.</i> .....	155
ОЦЕНКА СКОПЛЕНИЯ ВОДЫ В НАКЛОННОЙ САМОЛЕТНОЙ ПАНЕЛИ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ <i>Пань Я.</i> .....	158
ПРОЦЕСС КОМПАКТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ СОСТАВА (МОЛЬ%) $97\text{ZrO}_2-3\text{Y}_2\text{O}_3$ <i>Петрова А.Б.</i> .....	162
КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ <i>Попова Н.В., Францина Е.В., Иванчина Э.Д., Зырянова И.В.</i> .....	165
АНАЛИЗАТОРЫ ГАЗА НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ <i>Портнов В.С., Смагулова С.К.</i> .....	170
ТЕПЛОМЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО НАГРЕВА <i>Разумова А.А., Люй Цзинье, Ширяев В.В.</i> .....	172

ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЁМКОСТИ CAP-10 <i>Рюмкин А.В., Вавилова Г.В.</i> .....	177
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РЕКОНСТРУКТИВНАЯ ТОМОГРАФИЯ НА ОСНОВЕ СЕКТОРНОГО СКАНИРОВАНИЯ <i>Сагалакова А.Г.</i> .....	180
ПРОГРАММА-ЭМУЛЯТОР САМОСИНХРОНИЗИРУЮЩИХСЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ <i>Сак П.В., Ровенный Ф.С., Никонова Г.В.</i> .....	183
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ УГЛЯ <i>Сатанова А.С.</i> .....	187
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ЛИНЕЙНОГО ТРУБОПРОВОДА <i>Сечин А.И., Анищенко Ю.В., Попов А.И.</i> .....	189
АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ ПИТАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ БЕТАТРОНОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ <i>Симонова О.С., Касьянов С.В., Московченко А., GuoXingwang</i> .....	193
ОКИСЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРИМЕСЕЙ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ ОЧИСТНОГО АППАРАТА С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Скорюпина К.С.</i> .....	197
ВЫЯВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ СТАЛИ <i>Соковец К.А., Проботюк В.В., Муратов К.Р.</i> .....	202
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ <i>Спасенко В.С., Бессонов Н.С., Глиненко Е.В., Мельнов К.В.</i> .....	205
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Сысоева Н.В.</i> .....	207
ПРИМЕНЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ <i>Тищенко А.И.</i> .....	210
ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЗЕРВУАРОВ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ <i>Устюгов Д.А.</i> .....	214



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОТКРЫТИЕМ ДВЕРЕЙ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА <i>Хромых А.А.</i> .....	218
АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТОВ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ОБРАЗЦОВ И ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ <i>Чернова В.В., Колесников В.А.</i> .....	222
ВЫБОР СХЕМ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С СИММЕТРИЕЙ <i>Чинь Ван Бак, Осипов С.П.</i> .....	227
РАДИОВОЛНОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ТРУБОПРОВОДОВ <i>Шабуров Д.Ш.</i> .....	231
КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ <i>Шибико А.В.</i> .....	235
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СЕНСОРНОМ КОНТРОЛЕ ГАЗОВЫХ СРЕД <i>Шубенков А.А., Слюнкова Л.В.</i> .....	240
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕЖДУ СЛОЯМИ И УРОВНЯ ДВУХСЛОЙНОЙ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ <i>Якшигильдина Р.И., Степанов А.Б.</i> .....	244
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ БЭТ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ПРЕКУРСОРОВ НА ДИСПЕРСНОСТЬ ПОРОШКОВ ЛИТИЙ-ЦИНКОГО ФЕРРИТА <i>Яруллина А.Р.</i> .....	248
CONTROL AND MONITIRING OF MAIN CLIMATIC PARAMETERS <i>Kabanov A.A., Nikonova O.A.</i> .....	254

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

*А.Б. Абдрахманов, Е.К. Тимофеева*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Сильфонный компенсатор – это вид детали, служащей для компенсации тепловых удлинений и расширений (рис. 1). Компенсатор сильфонный отличают от других его малогабаритные размеры. Благодаря этому свойству его можно применять на абсолютно любом участке трубопровода, независимо от схемы и применяемых фитинговых соединений. Основной частью этого вида изделия является непосредственно сам сильфон, представляющей собой гофрированную упругую асимметричную оболочку, выполненную из металлического сплава.



*Рис. 1. Сильфонный компенсатор и его контроль*

Суть работы сильфонного компенсатора заключается в том, что все дополнительные усилия, возникающие при линейных изменениях других элементов водопровода при перепадах температур, не передаются дальше по системе. Их на себя принимает сам компенсатор, поэтому все возможные деформации трубопроводной сети остаются лишь на локальных участках и не отражаются на её работе. Под действием поперечных, продольных сил, изгибающих моментов и углов поворота конструкция детали имеет возможность растягиваться и сжиматься, менять свою форму в поперечном направлении и значительно изгибаться.

Основной частью сильфонного компенсатора является сильфон - упругая гофрированная металлическая оболочка, обладающая способностью растягиваться, изгибаться либо сдвигаться под действием перепада температур, давления и другого рода изменений.

Сильфоны современных компенсаторов состоят из нескольких тонких слоев нержавеющей стали, которые формируются при помощи гидравлической или обычной прессовки.

Для того чтобы достичь наибольшей гибкости компенсатора, сильфон производится из довольно тонкого материала. Способность компенсировать механические и температурные расширения и вибрации, возникающие в процессе эксплуатации трубопроводных систем напрямую зависит от гибкости сильфона, поэтому гибкость является неотъемлемым элементом компенсатора.

Компенсаторы сильфонные на заводе–изготовителе подвергаются всесторонним испытаниям, обеспечивающим контроль его эксплуатационных характеристик.

Контроль и испытания в зависимости от стадии производства сильфонных компенсаторов заключается во входном контроле поступивших основных и сварочных материалов, операционном контроле изготовления деталей и узлов, окончательном контроле.

В соответствии с требованиями технических условий, конструкторской и нормативной документации основные и сварочные материалы, сварные соединения, детали, сварочные единицы проходят контроль и испытания разрушающими и неразрушающими методами в соответствующих объемах.

Контроль изготовления компенсаторов производится в соответствии с планом качества. План качества, включает контроль выполнения следующих операций

- входной контроль полуфабрикатов для изготовления деталей компенсатора;
- входной контроль полуфабриката для изготовления сильфона;
- входной контроль сварочных материалов;
- аттестация процесса сварки;
- операционный контроль «Контроль сборки под сварку»;
- операционный контроль. «Контроль процесса сварки»;
- визуально-измерительный контроль сварных соединений;
- контроль сварных соединений капиллярным методом контроля;
- контроль сварных соединений радиографическим методом контроля;
- гидроиспытание;
- испытание на герметичность;
- испытание на жесткость;
- испытание на цикличность;
- упаковка, консервация и комплектация.

Неразрушающий контроль сварных соединений должен проводиться в соответствии с утвержденной методикой и аттестованными контролерами. Методы неразрушающего контроля сварных соединений сильфонного компенсатора устанавливаются в конструкторской документации или при заказе.

В соответствии с ОСТ 26-02-778-73 «Компенсаторы волнистые. Общие технические требования», компенсаторы в зависимости от назначения и эксплуатационных параметров разделены на четыре группы, определяющие объем контроля сварных швов. В компенсаторах первой и второй группы, предназначенных для взрывоопасных продуктов и сильнодействующих ядовитых веществ, а также работающих при давлении больше  $50 \text{ кгс/см}^2$ , а также температуре выше  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , сварные швы подвергаются 100 % рентгенконтролю. В компенсаторах третьей и четвертой групп, работающих в менее жестких условиях, контроль проводится 50 % сварных швов. Группа компенсаторов должна оговариваться в заказе на компенсаторы.

Для проведения контроля применяются следующие методы:

- радиографический контроль сварных соединений;
- капиллярный контроль сварных соединений;
- ультразвуковой контроль сварных соединений;
- контроль внешним осмотром и измерением.

Контроль размеров компенсаторов (проводят при температуре окружающей среды.).

Оценка результатов контроля проводится по утвержденным нормам и правилам. Качество поверхности сильфона проверяется при визуальном контроле, сравнением с контрольными образцами.

Основные геометрические размеры сильфона сильфонного компенсатора проверяются при измерительном контроле при помощи измерительного инструмента, обеспечивающего необходимую точность.

Испытания на герметичность наружного слоя сильфона сильфонного компенсатора КСО должны проводиться на специальном стенде воздействием на сильфон воздухом наружным давлением для данного типоразмера сильфона. Выдержка при этом давлении должна быть не менее 3 минут. После сброса давления сильфон погружают в емкость с водой. Признаком негерметичности наружного слоя является систематическое отделение от поверхности сильфона пузырьков воздуха.

Испытания сильфона на герметичность проводят масс-спектрометрическим способом обдува гелием при остаточном абсолютном давлении внутри сильфона не более  $0,665 \text{ Па}$  ( $5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$ ). Сильфон сильфонного компенсатора перед испытанием на герметичность должен быть подвергнут сушке, при температуре от  $100$  до  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Применение методов неразрушающего контроля позволяет производству получить ряд дополнительных преимуществ: исключить затраты на дорогостоящее оборудование для разрушающих испытаний; сократить объем и стоимость окончательного контроля продукции; отработать конструкцию изделий; отработать технологию производства изделий; повысить производительность, снизить трудоемкость и стоимость контроля; сократить брак; уменьшить затраты на последующую обработку изделий в результате своевременного обнаружения в них недопустимых дефектов; повысить культуру труда операторов и ряд других преимуществ. Применение методов неразрушающего контроля качества дает весомую экономию средств за счет отбраковки недоброкачественного металла, заготовок перед дорогостоящей механической обработкой.

### **Список информационных источников**

1. Ковалев В.И. Сильфонные металлические компенсаторы. – Санкт-Петербург. 2008. – 63 с.
2. ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов».
3. ООО «Белэнергомаш – БЗЭМ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energomash.ru/production/proizvodstvo-silfonnykh-kompensatorov.htm> 07.09.16.
4. Сильфонные компенсаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kom-pensator.ru/silfonnyie-kompensatoryi> 7.09.16.
5. Назначение сильфонных компенсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.komarm.ru/Kompens/00\\_kompens\\_op.htm](http://www.komarm.ru/Kompens/00_kompens_op.htm) 9.09.16.
6. Производство сильфонных компенсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ngs-penza.ru/about/poleznaya-informatsiya/proizvodstvo-silfonnykh-kompensatorov/> 9.09.16.
7. Методы контроля качества сильфонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ros-pipe.ru/clauses/metody\\_kontrolya\\_kachestva\\_silfonov/](http://ros-pipe.ru/clauses/metody_kontrolya_kachestva_silfonov/) 9.09.16.

## ПРОЕКТ АЗС В ГЛУБОКОВСКОМ РАЙОНЕ, ВКО

*Г.Т. Айткалиев*

*Казахский национальный исследовательский технический университет,  
г. Караганда*

*Научный руководитель: Киябаев Серик Нуктевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры  
проектирования, сооружения и эксплуатации газонефтепроводов  
и газонефтехранилищ*

«Востокцветмет» выделил 700 млн. тенге на ремонт дороги Секисовка-Шемонаиха. В сутки по этому участку дороги проезжает около 30 грузовых автомобилей подрядных организаций, которые предоставляют компании услуги по перевозке руды. Участок является и частью автодороги А-10 (Усть-Каменогорск – Шемонаиха – граница РФ), по которой также осуществляют движение большое количество других транспортных средств, в том числе большегрузных. После ремонтных работ значительно увеличилась пропускная способность дороги, улучшилась безопасность дорожного движения.

Существующая тенденция на расширения транзитных потоков и улучшения транспортных инфраструктур, требует соответствующее предоставление Горюче Смазочных Материалов (ГСМ) и поддержки топливом автотранспорта на сообщении «Усть-Каменогорск — Шемонаиха». При анализе размещения дополнительных зон транзитных остановок, станции технического обслуживания и автозаправочных станции, было выявлено перспективное место местоположение для расположения АЗС вдоль автомобильной дороги А-10 в районе пересечения с дорогой Усть-Каменогорск – Риддер, неподалеку от поселка Секисовка.

Нефтепродуктообеспечение между потребителем и производителем будет производиться через АЗС, где горючее переходит в собственность потребителя. АЗС должна быть оснащена современными высокоточными и надежными средствами отпуска нефтепродуктов.

Тема дипломного проекта: «Проект АЗС в Глубоковском районе ВКО».

Целью работы является проанализировать размещение дополнительных зон транзитных остановок, станции технического обслуживания и автозаправочных станции, а также выявить перспективное место местоположение для расположения АЗС вдоль автомобильной дороги А-10 (Усть-Каменогорск – Шемонаиха).

Проект состоит из технологической, специальной, экономической частей, а также из разделов охраны труда и окружающей среды.

В технико-технологической части дипломного проекта рассмотрены физико-географическая характеристика площадки строительства АЗС, вопросы архитектурно-строительной части проекта.

Стандартный комплекс автозаправочной станции включает следующие основные элементы:

- здание операторной;
- навес над площадкой заправочной станции из металлоконструкций комплектной поставки;
- подземные резервуары для хранения топлива и резервуары сбора аварийных проливов, дождевых стоков;
- трубопроводы от подземных резервуаров к заправочным колонкам;
- система управления паров нефтепродуктов при сливе и возврат их в резервуары (газоуравнительная система);
- заправочные колонки;
- электронное оборудование для контроля налива топлива, учета остатков и взимания платы;
- а также устанавливаемые на территории станции, на обочине дороги;
- конструкции светильников для освещения площадки станции;
- электропровода, выключатели и вспомогательные материалы для соединения в электрическую сеть.

Также здание АЗС включает в себя: место оператора, операционный зал с магазином.

Специальная часть затрагивает вопросы по расчету количества обслуживаемых автомобилей.

В разделе безопасности жизнедеятельности был произведен анализ опасных и вредных производственных факторов и защитных мероприятий по охране труда, а также расчет количества загрязнений, задержанных в очистных сооружениях

Планирование – это процесс определения и научного обоснования комплекса показателей производственно – хозяйственной деятельности, включающей прогнозирование, конкретизацию и описание деятельности хозяйственного субъекта, планирование охватывает работу людей, движение материальных и финансовых ресурсов, нацеленных на достижение конкретного результата.

Особое внимание следует уделять инвестиционному проектированию, так как оно имеет долгосрочный и капиталоемкий характер, значительно при этом повышается риск потери капитала. При планировании инвестиций очень важно как можно точнее рассчитать величины доходов, расходов, предпринимательскую прибыль, экономический эффект.

При выполнении расчетных работ применяются различные методы или их различные сочетания: расчетно-аналитический, нормативный, калькулирования и т. п. очень важно использовать обоснованные, проанализированные, проверенные в ходе хозяйственной деятельности нормы и нормативы.

Исходная база для расчетов берется по технологической части проекта.

В составе реконструируемой АЗС предусмотрены:

- здание операторной;
- навес над заправочными островками;
- площадка резервуаров топлива
- заправочные островки с колонками;
- молниеотвод (2 шт.);
- технологические трубопроводы
- подземные резервуары емкостью 5х20 м<sup>3</sup>;
- пожарные резервуары 2х50 м<sup>3</sup>;
- площадка слива топлива
- очистные сооружения.

Сметная стоимость АЗС составляет 12958000 тенге.

АЗС предназначена для приема, кратковременного хранения и выдачи бензинов марок Аи-95, Аи-92, А-80, дизельного топлива.

Проектная пропускная способность АЗС составляет от 250 автомобилей в сутки.

Планируемая годовая реализация нефтепродуктов за год составляет:

- всего – 1 352,5 тыс. л/год;
- Аи-95 – 369,9 тыс. л/год;
- Аи-92 – 383,6 тыс. л/год;
- А-80 – 274 тыс. л/год;
- ДТ – 325 тыс. л/год.

Режим работы АЗС круглосуточный в три смены 365 дней в году.

Срок окупаемости проекта всего составляет 3,5 года, что говорит о рентабельности вложения инвестиционного капитала на развитие трассы областной значимости.

### **Список информационных источников**

1. Коршак А.А, Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Проектирование, сооружение, эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ.-Уфа:Изд-во УГНТУ, 2000. – С.239–245.
2. ДэниелЕргин. Добыча: Всемирная история борьбы за нефть, деньги и власть. – М.: «Альпина Паблишер», 2011. – 944 с.



3. Коршак А.А, Коробков Г.Е., Муфтахов Е.М. Нефтебазы и АЗС.- Уфа: Изд – во ДизайнПолиграфСервис,2006. – С. 273–312.
4. СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства АЗС – М. Стройиздат, 1999. – 500 с.
5. Шаммазов А.М. История нефтегазового дела России. – М.: Химия, 2001. – 365 с.
6. Карбанович И. И., Экономия автомобильного топлива: опыт и проблемы. – М.: Транспорт, 1992. – 152с.
7. Халутаков З. Б., ПинскийЗ.Б. Автозаправочные станции. – Москва, 1980. – 164с.
8. Вяткин Г.П., АндрееваА. Н., Болтухин А. К. и др. Машиностроительное черчение. – М.: Машиностроение, 1995. – 368с.
9. Дмитриев И.А Оборудование автозаправочных станций. – М.: Недра, 1978. – 320с.
10. Тальский А. М. и др. Технология конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 2003. – 512с.
11. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 496с.
12. Тяжелников В. И. Автозаправочные станции: практическое пособие. – М.:Нефтяная промышленность, 2003. – 456 с.
13. Короев Ю.И. Черчение для строителей. –М.: Высш. шк., Изд. центр «Академия», 2001. – 256с.
14. Раздорожный А. А Охрана труда и производственная безопасность. – М.: Экзамен, 2006. – 560с.
15. Шейнблит А.Е Курсовое проектирование деталей машин. – Калининград: Янтар. сказ, 2004. – 454с.
16. Сорокин В. Г Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1989. – 640с.
17. Стандарт предприятия. Документы текстовые учебные, курсовые и дипломные проекты. Метод.пособие. Петрозаводск ПетрГУ, 2000. – 31 с.

# СВЧ ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

*А.В. Аникин*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Шиян В.П., к. ф-м.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества*

В данной работе представлен плазмохимический метод глубокой переработки углеводородного газа на углерод и водород на основе использования плазмы-СВЧ разряда. Целью данной работы является исследование потенциальных возможностей СВЧ плазмотрона для конверсии природного газа.

Для данного типа СВЧ плазмотрона были проведены расчеты его основных параметров, выбран конструкционный материал, проведены холодные измерения параметров согласования и ослабления волноводной системы.

*Выбор рабочей частоты плазмотрона*

В качестве рабочей частоты выбираем частоту,  $f = 2450$  МГц. Данной частоте соответствует рабочая длина волны  $\lambda$ , рассчитанная по формуле:

$$\lambda = c / f = 3 \cdot 10^{10} / 2,45 \cdot 10^9 = 12,24 \text{ см.} \quad (1)$$

*Выбор типа волновода*

В соответствии с рабочей частотой  $f = 2450$  МГц и длиной волны 12,24 см, в качестве рабочего типа волновода выбираем прямоугольный волновод с поперечным сечением  $90 \times 45 \text{ мм}^2$ .

*Расчет затухания СВЧ энергии в волноводе*

Расчет проводим для рабочей волны основного типа  $H_{10}$  по формуле, приведенной в работе [2].

$$(\alpha)_{H_{10}} = \frac{\sqrt{\omega \varepsilon_0}}{b \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{4a^2}}} \cdot \left[ 1 + 2 \frac{b}{a} \left( \frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где  $\mu_{ст}$  – магнитная проницаемость стенки волновода;  $\sigma_{ст}$  – удельная проводимость стенки волновода,  $1/\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;  $\varepsilon$  и  $\mu$  – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды заполняющей волновод.

Отсюда получаем:

$$(\alpha)_{H_{10}} = \frac{\sqrt{\frac{15.386 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 8.84 \cdot 10^3 \cdot 0.154}{2 \cdot 7.69 \cdot 10^6 \cdot 12.56 \cdot 10^{-7}}}}{45 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{12.24}{2 \cdot 90}\right)^2}} \times \left[ 1 + 2 \frac{45}{90} \left(\frac{12.24}{2 \cdot 90}\right)^2 \right] = 0.118 \left[ \frac{\text{дБ}}{\text{м}} \right].$$

Для оценки потерь СВЧ энергии в волноводе был произведен их расчет для волновода, выполненного из нержавеющей стали. Нержавеющая сталь была выбрана в качестве конструкционного материала, так как по стоимости, она дешевле, чем медь и латунь, но обладает приемлемой для поставленной цели величиной СВЧ ослабления и температуростойкостью.

Схема плазматрона активным иницированием СВЧ разряда представлена на рис. 1.

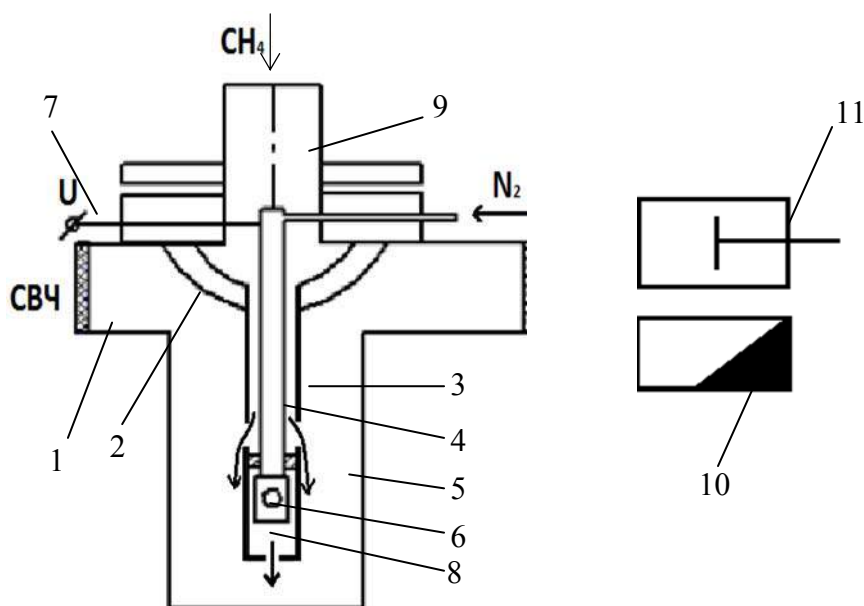


Рис. 1

Плазматрон с активным иницированием СВЧ – разряда представляет собой волноводно-коаксиальный переход «пуговичного» типа 1, который состоит из прямоугольного волновода 2 и коаксиальной линии 3с внутренним проводником 4, внешним проводником 5, образующим разрядную камеру. Во внутреннем проводнике 4 коаксиальной линии размещена трубка 6 с подключенным к ней проводником 7 . На конце внутреннего проводника 4 выполнено сопло 8. Плазматрон снабжен

волноводом круглого сечения 9, который служит для подачи плазмообразующего газа и защитой от СВЧ – излучения. На выходе волновода 2 размещается согласованная нагрузка 10 или короткозамыкающий поршень 11. Волновод 2 сечением  $90 \times 45 \text{ мм}^2$  выполнен из нержавеющей стали. Внутренний проводник 4 коаксиальной линии 3 диаметром 16 мм и внешний проводник 5 внутренним диаметром 40 мм также выполнены из нержавеющей стали.

Для оценки эффективности устройства ввода СВЧ энергии были произведены измерения параметров согласования его волноведущей системы с помощью панорамного измерителя коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления Р2-56 в диапазоне частот от 2200 до 4400 МГц. Из полученных зависимостей при частоте равной 2450 МГц, КСВН = 1.26 при согласованной нагрузке, Для данного КСВН рассчитываем коэффициент отражения и уровень отраженной мощности:

$$|\Gamma| = \frac{p-1}{p+1} = \frac{1.26-1}{1.26+1} = 0.1, \quad (3)$$

где  $|\Gamma|$  – коэффициент отражения;  $p$  – Коэффициент стоячей волны (КСВН).

Найдем значение уровня отраженной мощности:

$$P_{\text{отраж}} = \Gamma^2 \cdot P_{\text{пад}} \cdot 100 \% = 0.1^2 \cdot 1 \cdot 100 \% = 1 \%. \quad (4)$$

В качестве варианта были произведены измерения параметров согласования волноведущей системы СВЧ плазмотрона при ее нагрузки на коротко замыкающий поршень КСВН = 2.7

Для данного КСВН рассчитываем коэффициент отражения и уровень отраженной мощности:

$$|\Gamma| = \frac{p-1}{p+1} = \frac{2.7-1}{2.7+1} = 0.45.$$

Найдем значение уровня отраженной мощности:

$$P_{\text{отраж}} = \Gamma^2 \cdot P_{\text{пад}} \cdot 100 \% = 0,45^2 \cdot 1 \cdot 100 \% = 21.1 \%.$$

В результате проведенного эксперимента при измерении согласования плазмотрона с согласованной нагрузкой и короткозамыкателем был выбран первый вариант (согласованная нагрузка) характеризующейся минимальным уровнем отраженной мощности. Что подтверждает хорошее согласование волноведущей системы. Так как коэффициент отражения соответствует уровню отраженной мощности 1 %, то есть наша система обладает хорошим согласованием.

С помощью данного плазмотрона была осуществлена конверсия природного газа в углеродный наноматериал и водород с эффективностью до 70 % . В состав углеродного наноматериала входят многослойные, однослойные луковичные нанотрубки и аморфный углерод с удельной поверхностью 200–400 м<sup>2</sup>/гр. В экспериментах мощность СВЧ генератора изменялась в пределах 0.8–2 кВт. Расход газа в пределах 0.05-1 м<sup>3</sup>/час. Эксперименты проводились при атмосферном давлении.

#### **Список информационных источников**

1. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Том 1. – М.: 1970.
2. Жерлицин А.Г., Шиян В.П., Косицин В.С., Медведев Ю.В., Галанов С.И., Сидорова О.И. Плазмохимическая конверсия природного газа в СВЧ реакторе // Известия Вузов. Физика. – 2010. – № 10-2. – С.270–274.
3. Альтшулер В.С. Термодинамика процессов получения газов заданного состава из горючих ископаемых. – М.: Изд-во «Наука», 1969.– 256 с.
4. Устройство для получения углерода и водорода из углеводородного газа: пат. 2390493 Российская Федерация. № 2008144433/15; опубл. 27.05.2010.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИЛЬЗ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ**

*А.Г. Архиреев, С.В. Буслаев, А.А. Нахлесткин*

*Омский государственный технический университет, г. Омск  
Научный руководитель: Макарович В.В, старший преподаватель кафедры  
«Нефтегазовое дело» ОмГТУ*

Основной задачей неразрушающего контроля на предприятии является контроль надежности основных рабочих свойств и параметров изделия или отдельных его узлов, не требующий выведения объекта из работы либо его демонтажа. В настоящий момент имеется большое количество дефектоскопов, имеющих непосредственное практическое применение на производстве. В данной статье будет рассмотрен принцип действия вихретокового дефектоскопа типа НТ-8, содержащего шестнадцать накладных преобразователей и предназначенного для обнаружения дефектов сплошности различного вида в ферромагнитных изделиях, а также рассмотрен процесс контроля с его помощью чугунных гильз блока цилиндров дизельного двигателя [1, с. 230].

Данный дефектоскоп позволяет обнаружить всевозможные дефекты сплошности материала гильзы блока цилиндров, таких как трещины, раковины, поры, расположенных как на внутренней, так и на наружной поверхностях гильзы, в различных диапазонах частот. Отличительная особенность данного дефектоскопа – высокая производительность (время непосредственного контроля одной гильзы не превышает 13 секунд). Автоматизация процесса контроля, а также возможность работы на нем контролеров завода без специальной подготовки позволяет сократить финансовые затраты предприятия на обучение кадрового состава [2, с. 280].

Принцип действия дефектоскопа основан на модуляционном (или динамическом) способе контроля. Его характерной особенностью является относительное перемещение вихретокового преобразователя и контролируемого изделия, чаще всего с постоянной линейной скоростью. При взаимном перемещении накладного преобразователя и контролируемого изделия при попадании дефекта сплошности в область под преобразователем изменяется амплитуда его выходной э.д.с. При постоянной скорости относительного перемещения накладного преобразователя и контролируемого изделия указанная амплитуда зависит также от зазора между преобразователем и поверхностью изделия, а также от его электрических и магнитных параметров, в первую очередь таких, как

удельная электрическая проводимость и магнитная проницаемость [3, с. 115].

Как показывают всевозможные исследования, наибольшую сложность при контроле гильз блока цилиндров, изготавливаемых из высокопрочного чугуна, представляет разделение сигналов в измерительной цепи дефектоскопа, возникающих из-за присутствия дефектов сплошности контролируемого изделия и из-за непостоянства электромагнитных параметров его материала при перемещении накладного преобразователя вдоль контролируемой поверхности.

Для уменьшения влияния непостоянства зазора между накладным преобразователем и контролируемой поверхностью применяется два способа. При контроле внутренней поверхности гильзы блока цилиндров, то есть при малой шероховатости этой поверхности, используются контактные подпружиненные накладные преобразователи. Также, контроль гильз дефектоскопом проводится до операции мойки, поэтому на ее поверхности имеются остатки охлаждающей жидкости (применявшейся при механической обработке гильзы), что уменьшает трение между контактным преобразователем и контролируемой поверхностью. При контроле наружной поверхности гильзы применяются бесконтактные преобразователи. Для уменьшения влияния непостоянства зазора между накладным преобразователем дефектоскопа и контролируемой поверхностью он сделан относительно большим (около 3 мм). Для обеспечения требуемой чувствительности к мелким дефектам обмотки преобразователя включены в резонансные колебательные контура [2, с. 281].

Для разделения сигналов, формирующихся от дефектов сплошности материала контролируемого изделия и от различных мешающих факторов, при динамическом способе вихретоковой дефектоскопии общепринятым является применение частотных фильтров различного типа, установленных после амплитудного детектора, на который поступает вторичный сигнал преобразователя. Это обусловлено тем, что в большинстве случаев частотный спектр импульсов (на выходе амплитудного детектора), соответствующих дефектам сплошности, отличается от спектра импульсов, вызванных влиянием мешающих факторов. Обычно дефектам сплошности как локальным резким изменениям однородности материала соответствуют на выходе амплитудного детектора импульсы с более крутыми фронтами и с меньшей длительностью по сравнению с теми, которые формируются при перемещении преобразователя над участками с отсутствующими дефектами. Применение в данном дефектоскопе фильтра верхних частот позволило достичь существенного повышения отношения (сигнал от дефекта) / (сигнал от

структурных неоднородностей) [1, с. 237]. После фильтра верхних частот производится дальнейшее разделение сигналов от дефектов сплошности и от структурных неоднородностей с применением микропроцессора

на основе алгоритма, выведенного на основании экспериментальных исследований и практических опытов. Результатом данного технологического решения является почти полное устранение так называемых ложных срабатываний дефектоскопа, когда дефектоскоп срабатывает не от дефекта сплошности материала контролируемого изделия, а от сигнала, вызванного каким-либо мешающим фактором.

Процесс дефектовки гильз блока цилиндров с помощью дефектоскопа НТ-8 в промышленности полностью автоматизирован. После установки гильзы в отсек контроля дефектоскопа, как показано на рисунке 1, закрываются защитные створки, гильза приближается к накладным преобразователям и приводится во вращение. При обнаружении под любым из 16-ти накладных преобразователей дефекта сплошности материала гильзы ее вращение прекращается, защитные створки открываются, а на передней панели электронного блока загорается световой индикатор красного цвета, показывающий, под каким преобразователем обнаружен дефект. Если дефекты отсутствуют, то после завершения цикла контроля вращение гильзы прекращается, защитные створки отсека контроля открываются и оператор заменяет гильзу на новую и процесс повторяется [3, с. 197].



*Рис. 1 Процесс дефектовки гильзы блока цилиндров дефектоскопом НТ-8*



Таким образом, применение вихретоковых дефектоскопов позволяет выявить скрытые дефекты ещё на этапе производства и сборки цилиндров двигателя. Стоит отметить, что применение данного оборудования в качестве первичной диагностики позволяет сэкономить значительные финансовые средства предприятия и предотвратить различные серьёзные поломки двигателей на этапе дальнейшей эксплуатации. Так, применение данных дефектоскопов на таких предприятиях, как АО «Омстрансмаш», ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК» с 2011 года позволило сократить число рекламаций по поводу преждевременного выхода из строя дизельных двигателей по причине разрушения блока цилиндров из-за внутренних дефектов на 7,5 %, что хоть и незначительно, но сказывается на экономии финансовых ресурсов предприятий. Поэтому можно сказать, что на данный момент применение дефектоскопов самого различного устройства и принципа действия для диагностики узлов и агрегатов является необходимым фактором для повышения качества и надёжности производимого оборудования.

#### **Список информационных источников**

1. Ключев В.В. Неразрушающий контроль // М.: Машиностроение, 2003. –Т. 2. – 689 с.
2. Чернышев А.В., Загорский А.В. Вихретоковый дефектоскоп для контроля гильз цилиндров дизельного двигателя // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.- техн. конф., Могилев, 2009. – Ч.2. – С. 280–281.
3. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля. – М.: Спектр, 2014 – 288 с.

# ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ МЕТЕОРНОГО СЛЕДА

*А.Р. Ахметова*

*Карагандинский государственный технический университет,  
г. Караганда*

*Научный руководитель: Муравлев В.К., к. ф.-м. н, старший преподаватель  
кафедры измерительная техника и приборостроение*

Для моделирования системы метеорной радиосвязи необходимо построение радиофизической модели метеорного следа, представляющего собой анизомерную неоднородность [6]. В ряде работ вычисления основных параметров данной неоднородности – длины и радиуса, были проведены при заданных значениях нижней и верхней границ метеорной области [4, 5]. Однако при этом не учитывалось изменение электронной плотности следа в зависимости от высоты и не оценивалась возможность обеспечения связи при заданных параметрах метеороида и приемо-передающего оборудования системы радиосвязи.

Целью данной статьи является оценка эффективной длины метеорного следа, в пределах которой линейная электронная плотность, зависящая от скорости и массы метеороида, а также зенитных углов, определяемых радиантами метеорных потоков, обеспечивает возможность организации связи при заданных параметрах радиолинии.

При вхождении в атмосферу Земли происходит процесс абляции метеороида. Покинувшие поверхность метеорного тела атомы и молекулы продолжают движение относительно окружающей атмосферы со скоростью близкой к скорости метеороида и, сталкиваясь с молекулами атмосферы порождают свободные электроны и ионы. Число свободных электронов на единицу длины метеорного следа определяют линейную электронную плотность  $\alpha$  ее изменение вдоль метеорного следа может быть описано выражением [1, 2]

$$\alpha(t) = \alpha_{\max} \cos \gamma \cdot z(t), \quad (1)$$

где  $\gamma$  – зенитный угол;

$$z(t) = \begin{cases} \frac{9}{4} e^{-t} \left(1 - \frac{1}{3} e^{-t}\right)^2 & \text{при } -\ln 3 \leq t \leq 1.7, \\ t \leq -\ln 3, \quad t \geq 1.7. \end{cases} \quad (2)$$

В выражении (1) было введено значение относительной высоты  $t$  определяемое как

$$t = (h - h_{\max}) / H, \quad (3)$$

где  $h$  – высота атмосферы в рассматриваемой точке на следе;  $h_{\max}$  – высота точки следа с максимальной линейной электронной плотностью  $\alpha_{\max}$ ;  $H$  – приведенная высота атмосферы.

Высота максимума ионизации определяется соотношением [3]

$$h_{\max} = 47.4 + 12.76 \ln v. \quad (4)$$

Максимальная линейная электронная плотность  $\alpha_{\max}$  определяется эмпирическим уравнением [2]

$$\alpha_{\max} = 4.03 \cdot 10^{14} \frac{m(v-8.15)^3}{H}, \quad (5)$$

где  $m$  и  $v$  – масса и скорость метеороида при входе в метеорную область.

Объединяя выражения (1)–(5), получим общее уравнение линейной электронной плотности как функцию высоты

$$\alpha(h) = 4.03 \cdot 10^{14} \frac{m(v-8.15)^3}{H} \cdot \cos \gamma \cdot z(t). \quad (6)$$

Для вычисления приведенной высоты используем выражение [3]

$$H = 6.4 + 0.09(h - 95). \quad (7)$$

Вероятность обнаружения сигнала отраженного от метеорного следа зависит от мощности принимаемого сигнала и уровня помех на данной частоте. Определим минимальное значение линейной электронной концентрации следа, которое обеспечивает требуемое соотношение сигнал/помеха в зависимости от параметров системы метеорной связи.

При отражении от недоуплотненного метеорного следа мощность сигнала на входе приемника [4]

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \sigma \lambda^3 \alpha^2 \cos^2 \mu \exp\left(-\frac{8\pi r_0}{\lambda \sec^2 \theta}\right)}{(4\pi)^3 r_{\text{пер}} r_{\text{пр}} (r_{\text{пер}} + r_{\text{пр}}) (1 + \sin^2 \theta \cos^2 \gamma)}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{пер}}$  – мощность передатчика;  $G_{\text{пер}}, G_{\text{пр}}$  – коэффициенты направленного действия антенн передатчика и приемника;  $\sigma = 10^{-28} \text{ м}^2$  – эффективная поверхность рассеяния электрона;  $\lambda$  – длина волны;  $\alpha$  – линейная плотность электронов;  $\mu$  – угол между вектором электрического поля падающей волны и осью следа;  $\theta$  – угол падения передаваемой волны на след;  $r_0$  – начальный радиус метеорного следа;  $\gamma$  – угол между метеорным следом и плоскостью проведенной через пункты приема, передачи и отражающую точку;  $r_{\text{пер}}$  и  $r_{\text{пр}}$  – расстояния между передающей, приемной антенной соответственно и отражающей областью.

Начальный радиус метеорного следа может быть найден по следующей эмпирической формуле [2]

$$r_0 = 1.65 \cdot \sqrt{\frac{v}{40} \cdot \exp\left(\frac{h-95}{2H}\right)}. \quad (9)$$

Мощность шума определяется напряженностью поля помех на заданной частоте  $E_n$ , которая может быть определена на основании эмпирических данных, и действующей высотой приемной антенны  $h_d$

$$P_{ш} = (E_n h_d)^2 / R, \quad (10)$$

где  $R$  – входное сопротивление приемника, а действующая высота антенны определяется как

$$h_d = \frac{\lambda^2}{\pi} \sqrt{\frac{\eta G_{пр} R}{120}}, \quad (11)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия антенны.

Минимальная линейная электронная плотность зависит от требуемого отношения  $P_{пр}/P_{ш}$  и максимальной линейной электронной плотности следа

$$\alpha_{min} = (P_{ш}/P_{пр}) \alpha_{max}. \quad (12)$$

Очевидно, что требуемое отношение сигнал/шум на входе приемной системы может быть получено для значений  $\alpha$  превышающих значение  $\alpha_{min}$ . Таким образом точки пересечения прямой  $\alpha_{min}$  и функции  $\alpha(h)$  определяют высоту начала  $h_n$  и конца  $h_k$  следа, а его длина зависит от зенитного угла и с достаточной степенью точности определяется выражением

$$L = (h_k - h_n) / \cos \gamma. \quad (13)$$

На рис. 1 приведена зависимость  $\alpha(h)$  для метеороида массой 0.025 г и скоростью 50 км/с при которых максимальное значение линейной электронной плотности  $\alpha_{max} = 5.14 \cdot 10^{14}$ , при этом  $\alpha_{min}$  было вычислено для системы метеорной связи со следующими параметрами:  $P_{пер} = 500$  Вт;  $G_{пер} = G_{пр} = 20$ ;  $\lambda = 7.5$  м; длина трассы  $c = 1000$  км.

Для вычисления  $\alpha_{min}$  метеорного следа образованного метеороидом массой 0.1 г и скоростью 50 км/с не может быть использовано выражение (8) поскольку след является переуплотненным.

Предложенный метод оценки эффективной длины метеорного следа может быть использован при моделировании системы метеорной радиосвязи для уточнения оценки интервала рассеяния по запаздыванию [5].

Метод также позволяет обоснованно задать параметры анизотропной неоднородности, необходимой для построения радиофизической модели метеорного следа.

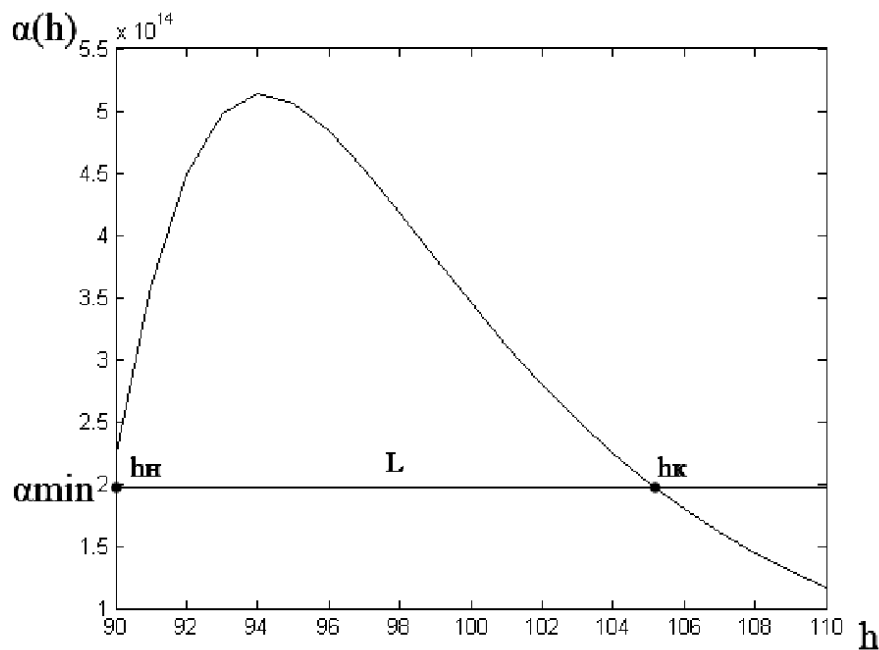


Рис. 1. Зависимость линейной электронной концентрации от высоты

### Список информационных источников

1. Kaiser T.R. Theory of the meteor height distribution obtained from radio-echo observations // Royal Astronomical Society. – 1954. – Vol. 114. – P. 52–62.
2. Белькович О.И. Статистическая теория радиолокации метеоров. – Казань: КГУ, 1977. – 108 с.
3. Weiss A.A. Elevation, Height, and Electron Density of Echoing Points of Meteor Trails // Australian Journal of Physics. 1959. – Vol. – 12. – P. 65–76
4. Антипов И.Е., Коваль Ю.А., Обельченко В. В. Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации. Харьков: Коллегиум, 2006. – 308 с.
5. Харченко Е.В. Метод оценки интервала рассеяния по запаздыванию при отражении сигналов от метеорных следов // Радиотехника. Харьков: ХНУРЭ. – 2010. – Вып.160. – С. 56–61.
6. Рытов С.М., Кравцов Ю. А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч.2. Случайные поля. – М.: Наука, 1978. – 464 с.

# ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ

**К.А. Батенков**

*Академия ФСО России, г. Орел*

Основная особенность определения параметров качества функционирования сети, как впрочем, и качества обслуживания, и качества восприятия заключается в том, что они оцениваются, в основном, лишь для этапа непосредственно связанного с соединением, а конкретнее с этапом передачи информации (таблица 1). Вторая особенность связана с зависимостью наборов параметров качества функционирования сети от используемой технологии, в первую очередь, определяемую типом носителя информации – пакет, фрейм, ячейка дейтаграмма и т. п. Еще одна особенность, скорее терминологического свойства, определяется возможностью оператором сети предоставлять в распоряжение пользователям ресурсы самой сети, то есть, по сути, оказывать услугу по передаче информации по средством сети. Отсюда возникает терминологический парадокс: показатели качества функционирования сети оказываются одновременно и показателями качества услуги, или обслуживания, но конкретно услуги доступа к сети с той или иной технологией.

Таблица 1

*Функциональная модель качества в телекоммуникациях на уровне соединения*

Тип величины	Функции обслуживания		Качества		
			быстродействие	точность	надежность
			1	2	3
первичные параметры	установление соединения	1			
	передача информации	2			
	разъединение соединения	3			
Границы параметров	установление соединения	1			
	передача информации	2			
	разъединение соединения	3			
			готовность		
вторичные параметры	соединение в целом	4			

Следует отметить, что конечные пользователи требуют такого качества функционирования сети, которое совместно с терминалами и другими устройствами способно обеспечить удовлетворительную

работу их сетевых приложений. Использование конкретного сетевого протокола не может изменить данного предположения, за исключением того, что качество функционирования сети должно рассматриваться в контексте параметров передаваемых носителей (порций данных) [1].

Требования приложений (как отмечалось выше, обеспечивающих предоставление услуг) обычно являются хорошо понятными как самому пользователю, так и оператору сети [2]. Однако есть естественные ограничения, непосредственно не позволяющие контролировать оператору все устройства на пути передачи информации, например, домашние сети, локальные сети, шлюзы приложений, терминалы, компьютеры и другие устройства пользователя. Заметим, что существует ряд рекомендаций описывающих параметры пользовательских устройств и их пределы, например, для терминалов телефонии. Следовательно, совместный учет значений данных параметров и параметров качества функционирования сети позволяет определять качество обслуживания, описываемое в контексте используемого приложения.

С этой целью для операторов сети выработаны ряд классов (уровней) качества функционирования сетей, а также граничные значения параметров, определяющих данные классы. Они оказываются весьма полезными, поскольку параметры качества функционирования сетей являются критическими, а, зачастую, просто доминирующими для качества обслуживания, и качества восприятия соответственно.

#### **Список информационных источников**

1. Rec. Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. – ITU-T, Geneva, 2011. – 52 p.
2. Rec. Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. – ITU-T, Geneva, 2006. – 50 p.

# **ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ НАКИМ НА ОСНОВЕ МИНИМУМА ИЗМЕРЯЕМОГО ПРОСТРАНСТВА**

*А.Ф. Балаев, О.В. Захаров, А.С. Яковишин*

*Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов*

*Научный руководитель: Королев А.В., д.т.н., профессор кафедры  
«Технология машиностроения»*

Одной из наиболее актуальных задач при контроле поверхностей деталей с применением координатно-измерительных машин (КИМ) будет повышение производительности. Для решения этой проблемы необходим комплексный подход, включающий совершенствование конструкции с целью повышения скоростей перемещений, интеграция средств управления, разработка алгоритмического и программного обеспечения. Важной частью последнего направления выступает оптимизация траекторий перемещения датчика касания при измерении.

Поверхность детали, подвергаемой контактному контролю координатно-измерительной машиной, можно представить как конечное множество пересекающихся поверхностей. Точность каждой поверхности может быть оценена конечным числом контрольных точек. Задача поиска минимально достаточного количества и оптимального расположения равноотстоящих точек на различных элементарных поверхностях решается специалистами с помощью экспертных оценок. Для обеспечения точности контролируемых поверхностей щуп координатно-измерительной машины должен обойти все контрольные точки хотя бы по одному разу. Общая траектория движения щупа КИМ будет иметь вид сложной кривой, длина которой определяет длительность цикла измерения всей детали. Производительность измерения может быть повышена путем уменьшения общей длины траектории движения щупа КИМ, при сохранении условия обхода каждой контрольной точки. Задача может быть решена путем поиска оптимальной стратегии обхода. Стратегия обхода представляет собой последовательность контрольных точек, в которой осуществляется их обход. Таким образом, маршрут движения щупа проходит через каждую точку по одному разу и завершается в начальной или стартовой точке. Обход щупа может быть представлен в виде графа, вершинами которого являются контрольные точки, а ребрами графа – траектории движения между двумя точками. Тогда поиск оптимального маршрута движения щупа предоставляет со-



бой маршрутно-распределительную обобщённую задачу коммивояжера, которая заключается в нахождении кратчайшего замкнутого пути, проходящего через каждую точку один и только один раз.

Поскольку задача коммивояжера является NP-трудной задачей, т. е. решается за полиномиальное время, то с целью снижения времени на вычисления задачу целесообразно ввести кластеризацию. Для этого множество всех контрольных точек, представленных вершинами графа, разбивается на подмножества или кластеры. В качестве кластера естественным образом выступает группа точек объединённых принадлежностью элементарной поверхности. Принятый подход позволяет свести исходную задачу к двум иерархически связанным задачам коммивояжера:

- 1) поиск оптимального маршрута обхода множества поверхностей;
- 2) поиск оптимального маршрута обхода множества точек на каждой поверхности.

Понижение размерности исходной задачи, достигнутое кластеризацией, позволяет при мощности множеств не более 30 [1] для каждой задачи использовать точные методы решения.

Опишем задачу коммивояжера как задачу целочисленного линейного программирования. Представим перемещения щупа из  $i$ -й контрольной точки в  $j$ -ю в виде матрицы перемещений  $d_{ij}$ , где  $i, j \in \overline{1, n}$  для некоторого количества контрольных точек  $n \in \mathbf{N}$ . Представим направление перехода из  $i$ -й точки в  $j$ -ю в виде матрицы чисел  $x_{ij} \in \{0, 1\}$  для  $i, j \in \overline{1, n}$ , где  $x_{ij} = 1$ , если маршрут обхода содержит ребро  $(i, j)$ , и  $x_{ij} = 0$  – в противном случае. Тогда задача сводится к поиску такого решения  $x$ , при котором маршрут будет наименьшим:

$$G(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При этом необходимо учитывать, что из каждой вершины графа, представленной контрольной точкой, выходит только одно ребро (2) и только одно ребро входит (3) в каждую вершину:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Отсутствие циклов, содержащих не все контрольные точки, обеспечивается выполнением условия (4):

$$\sum_{i \in P} \sum_{j \in P} x_{i,j} < |P|, \quad \forall P \subseteq \overline{1, n} : 2 \leq |P| \leq n-1, \quad (4)$$

где  $P$  – множество вершин графа.

При поиске оптимального маршрута необходимо выполнить следующие условия:

1. Каждая элементарная  $k$ -я ( $k \in \mathbf{N}, k \in \overline{1, N}$ ) поверхность содержит конечное множество  $P_k$  точек, представленных вершинами графа  $x_i \in P_k$ .

2. Обмер поверхности по множеству контрольных точек начинается с входной точки  $x_{i+1}$ , в которую приходит щуп, покинув конечную точку  $x_i$  предшествующей поверхности, и заканчивается выходной точкой  $x_j - 1$ , из которой щуп переходит к входной точке  $x_j$  следующей поверхности.

3. Исключая входную и выходную точки щуп может обходить только точки одной поверхности, т.е. точка входа является начальной точкой поверхности, точка выхода является конечной точкой поверхности. Таким образом, множества точек элементарных поверхностей не пересекаются.

4. Множество точек каждой поверхности имеет только один вход и только один выход.

5. Точка входа во множество точек поверхностей и точка выхода из него могут быть различны. Выбор входной и выходной точек из множества точек поверхности зависит от положений выходной точки предшествующей поверхности и входной точки следующей поверхности соответственно, таким образом, чтобы путь между входными и выходными точками поверхностей был наикратчайшим.

6. Вход во множество каждой поверхности и выход за полный гамильтонов цикл осуществляться один и только один раз.

На основе поставленных условий и описанной для линейной формы задачи коммивояжера (1)–(4), найдем описание исходной задачи поиска оптимального маршрута обхода контрольных точек щупом КИМ в общей форме.

Пусть задано конечное множество упорядоченных вершин  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , где  $n \in \mathbf{N}$  – конечное число вершин. Функция перемещения (длина ребер) между точками (вершинами) задается на множестве  $d : X \times X \rightarrow \mathbf{R}$ . Множество вершин  $X$  разделено на  $N$  подмножеств  $P_k$  ( $k \in N, N < n, N = \{1, \dots, N\}$ ), т. е. не существует такой вершины, которая не принадлежит хотя бы одному из подмножеств (5):

$$\bigcup_{k=1}^N P_k = X. \quad (5)$$

При этом подмножества точек поверхностей не пересекаются, т. е. не существует, по крайней мере, одной такой вершины, которая принадлежит одновременно двум подмножествам

$$\forall p, q (p \neq q; p, q \in N) \Rightarrow P_p \cap P_q = \emptyset.$$

Поскольку множество всех вершин  $X$  упорядочено, то и множество вершин внутри каждого подмножества  $P_k$  также будет упорядочено

$$\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1}, x_{i+m}\} = P_k, \text{ где } m < n, m \in \mathbf{N}.$$

Тогда с учетом (1) функция стоимости маршрута внутри подмножества  $P_k$  можно записать в виде (6):

$$D(P_k) = \sum_{t=i}^{i+m} \sum_{s=i}^{i+m} d_{t,s} x_{t,s} \rightarrow \min, \quad (6)$$

Для множества всех вершин  $X$  в исходной постановке задачи коммивояжера оптимальный маршрут может быть найден из решения функционала (7), полученного путем суммирования стоимости оптимальных маршрутов внутри каждого подмножества  $P_k$  (6) и оптимального маршрута между подмножествами:

$$D_{\Sigma} = \left( \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^N d_{p,q} x_{p,q} + \sum_{k=1}^N \sum_{t=i_k}^{i_k+m_k} \sum_{s=i_k}^{i_k+m_k} d_{t,s} x_{t,s} \right) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $p, q$  – порядковые номера подмножеств;  $d_{p,q}$  – стоимость перехода из выходной вершины  $p$ -го подмножества ко входной вершине  $q$ -го подмножества;  $i_k$  – порядковый номер первой вершине в  $k$ -ом подмножестве;  $m_k$  – число вершин в  $k$ -ом подмножестве;  $d_{t,s}$  – стоимость перехода из  $t$ -й вершины в  $s$ -ю вершину внутри  $k$ -го подмножества; первое слагаемое функционала – стоимость маршрута между подмножествами; второе слагаемое функционала – стоимость маршрута между вершинами внутри каждого подмножества.

Для решения поставленной и формализованной задачи (7) на первом этапе будет осуществляться поиск оптимального маршрута обхода каждого подмножества вершин, представляющего собой подмножество контрольных точек соответствующей элементарной поверхности. Для реализации поиска на данном этапе необходимо задать условие выбора входной и выходной вершины для каждого подмножества. Для облегчения и сокращения затрат времени на поиски граничных вершин, примем в качестве входной вершины  $xq$  первый элемент в упорядоченном множестве подмножества  $P_k$ :  $xq = x_{i_k}$ , а в качестве выходной вершины  $xp$

последний элемент в упорядоченном множестве подмножества  $P_k$ :  $x_p = x_{ik} + m_k$ . Из описания задачи выбора границ подмножества встает задача упорядочивания вершин в подмножествах. Упорядочивание может производиться произвольно, без нарушения целостности порядка следования вершин внутри подмножества, либо, исходя из геометрического смысла исходной задачи и того, что маршрут в каждом подмножестве не является замкнутым, в качестве начальной и конечной точек на элементарной поверхности, соответствующих входной и выходной вершинам подмножества, выбираются наиболее удаленные точки поверхности. После упорядочивания множества  $X$  производится выборка всех упорядоченных пар входных и выходных вершин  $x_{p,q}$  для поиска среди них оптимального варианта.

Нахождение оптимального маршрута обхода поверхностей или подмножеств осуществляется в ходе решения первой часть обобщенной задачи коммивояжера, которая согласно (7) сводится к решению функционала (8):

$$D_N = \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^N d_{p,q} x_{p,q} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Получив решение задачи (8) в виде матрицы последовательности переходов между подмножествами обеспечивающей наикратчайший маршрут обхода поверхностей и матрицы, приступаем к решению второй части обобщенной задачи по поиску оптимального маршрута внутри каждого подмножества, которая в общем виде согласно (7) примет следующий вид (9):

$$D_K = \sum_{k=1}^N \left[ \left( \sum_{t=i_k}^{i_k+m_k} \sum_{s=i_k}^{i_k+m_k} d_{t,s} x_{t,s} \right) + \left( d_{p,q}^{1k} + d_{p,q}^{2k} \right) \right] \rightarrow \min. \quad (9)$$

Следует отметить, что наряду с поиском оптимального маршрута внутри каждого  $k$ -го подмножества происходит уточняющий поиск входной  $x_q^{1k}$  и выходной  $x_p^{2k}$  вершин данного подмножества таких, что стоимости входящего  $d_{p,q}^{1k}$  и исходящего  $d_{p,q}^{2k}$  ребер не должны превышать своих исходных величин, найденных в результате решения предыдущей задачи маршрутизации (8). Таким образом, на первом шаге решения обобщенной задачи происходит отсеивание  $N2-1$  альтернатив, что существенно повышает производительность вычислений. На втором шаге происходит улучшение полученного на первом шаге решения путем оптимизации маршрута внутри каждого подмножества.

Представленная постановка дает общее представление о пути решения обобщенной задачи коммивояжера применительно к измерению КИМ, но определяет границы поиска решения задачи и является необходимым условием для его практической реализации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10204).

#### **Список информационных источников**

1. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
2. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
3. Berkhin P. Survey of Clustering Data Mining Techniques. AccrueSoftware, 2002. – 56p.
4. Мудров В.И. Задача о коммивояжере. – М.: Знание, 1969. – 62 с.
5. Lawler E.L., KarelLenstra Jan, RinnooyKan A.H.G., Shmoys D.B..The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization. Wiley, 1985. – 476 p.

# ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ЧАСТИЦАМИ САЖИ ПРИ ЛЕСНОМ ПОЖАРЕ

*Т.А. Белькова*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Перминов В.А. д. ф.м.н., профессор, Алексеев Н.А.,  
ст. преподаватель кафедры экологии и безопасности  
жизнедеятельности ТПУ*

По выбросам сажи Россия занимает одно из лидирующих мест в мире, уступая лишь пяти странам – США, Китаю, Бразилии, Индии и Индонезии. Главными источниками сажи в России являются многочисленные лесные пожары, травяные и сельскохозяйственные палы, сжигание мазута, угля и древесины, тепловые энергетические установки, промышленные и бытовые печи, мусоросжигательные заводы, работа дизельных двигателей и генераторов на некачественной солярке. Кроме того, нельзя не упомянуть проблему газовых факелов и утечки метана при транспортировке газа в России. Причем сажа составляет четвертую часть всех выбросов при природном пожаре.

Однако единой методики, позволяющей рассчитать фактический экологический ущерб от растительных пожаров, на сегодняшний момент не существует. Зачастую экологический ущерб является частью эколого-экономического ущерба, который отражается в стоимостной потере древесины. Соответственно существует актуальная проблема разработки методики оценки экологического ущерба от загрязнения атмосферы при природных лесных пожарах.

Для расчета экологического ущерба от загрязнений атмосферы частицами сажи при лесном природном пожаре на территории Томской области были приняты следующие исходные данные:

- среднегодовая температура наружного воздуха  $+0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- средней температурой выбрасываемой газозооушной смеси будет являться средняя температура пламени пожара при горении твердых веществ,  $t = 1125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- высота ветра над флюгером 10 м;
- фактический выброс сажи составляет 25 % от общей массы дыма [1];
- среднегодовой модуль скорости ветра 4,2 м/с;
- общая зона загрязнения среднего пожара составляет 24,3 км<sup>2</sup> [2], территория лесная без промышленных предприятий и населенных пунктов;
- принято, что частицы золы сажи оседают со скоростью 1–20 см/с.

Экологическую оценку ущерба, причиняемого выбросами сажи в атмосферу, определим по формуле 1 [3, 4]:

$$Y_A = \gamma \cdot \sigma_P \langle f \cdot M, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – удельный экологический ущерб от выброса 1 т вредных веществ в атмосферу, численное значение которого равно 192 р./усл. т в ценах 2001 г.;  $\sigma_P$  – расчетный показатель, характеризующий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха;  $f$  – коэффициент, учитывающий характер рассеивания вещества в атмосфере;  $M$  – приведенная масса годового выброса загрязнения из источника, усл.т/год.

Расчетный коэффициент  $\sigma_P$  рассчитываем по формуле (1). Дополнительные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Показатель относительной опасности загрязнения атмосферы в зависимости от типа территории*

Тип территории	S
Курорты, заповедники	10
Пригородные зоны отдыха (лес)	8
Населенные пункты	8
Территории промышленных предприятий, включая защитные зоны	4

$$\sigma_P = \frac{S_1 \sigma_1}{S} = \frac{24,3 \cdot 8}{24,3} = 8, \quad (2)$$

где  $S$  – общая площадь зоны загрязнения, км<sup>2</sup>;  $S_i$  – площадь загрязнения лесной территории, км<sup>2</sup>;  $S$  – показатель относительной опасности загрязнения атмосферы в зависимости от территории (табл. 2).

Коэффициент  $f$ , учитывающий характер рассеивания сажи в атмосфере, определяем по формуле (3);  $\varphi$  – поправку на тепловой объем факела выброса рассчитываем по формуле (4):

$$f = \left( \frac{100}{100 + \varphi \cdot H} \right) \frac{4}{1 + U_B} = \left( \frac{100}{100 + 16,012 \cdot 10} \right) \frac{4}{1 + 4,2} = 0,296, \quad (3)$$

$$\varphi = 1 + \frac{\Delta T}{75} = 1 + \frac{1125 - 0,9}{75} = 14,99, \quad (4)$$

$M$  – приведенную массу годового выброса сажи в атмосферу – рассчитываем по формуле (5):

$$M = \sum_{i=1}^n A_i m_i, \quad (5)$$

где  $A_i$  – показатель относительной опасности примеси  $i$ -го вида рассчитывается по формуле (6). Значение ПДК<sub>СС, сажи</sub> приведено в табл. 2.

$$A_{\text{сажи}} = \frac{1}{\text{ПДК}_{\text{СС сажи}}} = \frac{1}{0,05}. \quad (6)$$

Таблица 2

*ПДК некоторых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе*

Вещество	ПДК <sub>МР</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>СС</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Ацетальдегид	0,01	0,04
Азота диоксид (NO <sub>2</sub> )	0,085	–
Бензпирен	10 <sup>-6</sup>	–
Гексан	60	–
Диметилсульфид	0,07	0,012
Муравьиный альдегид (формальдегид)	0,035	25
Пентан	100	0,05
Сажа	0,15	0,05
Серы диоксид (SO <sub>2</sub> )	0,5	1,0
Углерода оксид (CO)	5,0	1,4
Циклогексан	1,4	–
Углеводороды (C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> )	5,0	–

Значение приведенной массы  $M$ , усл.т/год, годового выброса суммарных загрязнений в атмосферу определяется по формуле 7:

$$M = \frac{1}{0,05} \cdot 0,25 = 5 \text{ усл.т/год} \quad (7)$$

Норматив платы за выброс 1 т сажи согласно [5] составляет 330 руб. за 1 т в пределах установленных нормативов. Таким образом, экологическая оценка ущерба  $U_A$ , руб./год, причиняемого выбросами частиц сажи в атмосферу, для лесного природного пожара определим экологическую оценку ущерба:

$$U_A = \gamma \cdot \sigma_P \cdot f \cdot M = 192 \cdot 8 \cdot 0,144 \cdot 5 = 875,5 \text{ руб./год.}$$

Выводы:

1. При среднем лесном пожаре на территории Томской области на территории 24,3 км<sup>2</sup> в процессе горения выделяется 5 условных тонн сажи ежегодно. Частицы сажи оседают

2. Экологическая оценка ущерба составляет 875,5 руб./год.

3. Учитывая, что пожары носят катастрофический характер и зачастую занимают десятки и сотни тысяч километров, экологический и экономический ущербы приобретают серьезный характер.

4. Выделение сажи и других токсичных веществ в процессе горения лесов в атмосферу



### Список информационных источников

1. Добрых В.А., Захарычева Т.А. Дым лесных пожаров и здоровье. – Хабаровск: Издательство ГОУ ВПО Дальневосточный государственный медицинский университет, 2009. – 201 с.
2. РИА Томск [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.riatomsk.ru/article/20160825/ploschadj-pozharov-v-lesah-tomskoj-oblasti-uvlichilasj-no-smoga-ne-budet/01.09.2016>.
3. Приказ Госкомэкологии РФ от 25.09.1997 N 397 «Об утверждении “Перечня нормативных документов, рекомендуемых к использованию при проведении государственной экологической экспертизы, а также при составлении экологического обоснования хозяйственной и иной деятельности”».
4. Соснина Н.А., Терехова Е.Л. Экология. Расчетные задания: методическое пособие к практическим занятиям. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. – 88 с.
5. Приказ министра окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 27 ноября 1992 г. Базовые нормативы платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещение отходов.

## МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

*Н.С. Бессонов<sup>1</sup>, В.С. Спасенко<sup>1</sup>, Е.В. Глиненко<sup>1</sup>, А.Р. Хайруллин<sup>2</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научные руководители:<sup>1</sup>Мойзес Б.Б., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества*

*<sup>2</sup>Гаврилин А.Н., доцент кафедры автоматизация и роботизация в машиностроении*

Металлообрабатывающие станки и комплексы являются технологическим оборудованием, состоящими из сборочных единиц, узлов и деталей, подверженных влиянию вредных факторов, таких как, износ, тепло, ударные нагрузки, вибрации и т.д. Качество обработки на металлорежущих станках определяется точностью функционирования каждого в отдельности узла.

Вредные факторы (рис. 1) со временем приводят к изменению технических характеристик, влияющих на точность и шероховатость обработанных поверхностей.



*Рис. 1. Вредные факторы, возникающие при контакте инструмента с заготовкой*

Для контроля выходных параметров оборудования применяются различные методы, один из которых вибрационная диагностика – метод диагностирования оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, создаваемой работающим оборудованием.

Вибродиагностика может проводиться двумя способами:

- в процессе резания;
- при имитации процесса резания (рис. 2).

При механическом воздействии происходит прямой контакт возмущающего устройства с заготовкой, в следствие чего, происходит снижение надежности технологической системы.



Рис. 2. Способы имитационного воздействия

Вторые способы отличаются относительно сложной конструкцией.

Таким образом актуально решение двух задач:

- создание надежного устройства вибрационной диагностики относительно простого конструктивного исполнения;
- разработка метода диагностики на основе применения данного устройства.

Анализ источников информации позволил акцентировать внимание на алгоритме разработки метода физического моделирования (имитации) силового воздействия [3, 4], который состоит из следующих основных этапов.

Выявление направления и величин сил и иных факторов показателей экспериментальным способом.

Анализ откликов упругой системы оборудования в виде резонансных частот, общего уровня колебаний.

Выбор способа имитации в зависимости от требуемой точности имитации, стоимости и сложности применяемого устройства имитации.

Установление идентичности рабочего процесса и его имитации.

Создание устройства имитации.

### Список источников информации

1. Gavrilin A., Moyzes B., Zharkevich O. Constructive and processing methods of reducing vibration level of the metalworking machinery elements. *Journal of Vibroengineering*, 17 (7), pp. 3495-3504.
2. Alexey Gavrilin, Boris Moyzes, Alexzander Cherkasov, Kirill Mel'nov, Xiaoliang Zhang. Mobile complex for rapid diagnosis of the technological system elements. *MATEC Web of Conferences* 79 (2016) 01078. <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20167901078>.
3. Пат. 1547971 СССР, МКП В23 9/00. Устройство для нагружения фрезерных станков / Г.Н. Выговский, В.Д. Ковальчук – Оpubл. 07.03.90. – Бюл. № 9. – 4 с.
4. Амалицкий В.В. и др. Надежность машин и оборудования лесного комплекса: учебник для студентов специальности 170400. – М.: МГУЛ, 2002. – 279 с.

# ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ: АНАЛИЗ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

*В.Ю. Белянков, А.Е. Гольдштейн*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор кафедры  
физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

Одной из важных задач контроля, эффективно решаемой с использованием накладных ВТП, является измерение толщины стенки труб из электропроводящих немагнитных материалов, а также толщины диэлектрических покрытий этих труб либо воздушного зазора между ВТП и поверхностью трубы [1, 2].

Достоинствами накладных преобразователей являются их универсальность, возможность контроля объектов плоской, цилиндрической, и сложной форм с односторонним доступом к объекту контроля, локальность, позволяющая обеспечить высокую разрешающую способность и точно определить зону дефекта при сканировании поверхности объекта контроля [3].

Применительно к рассматриваемой задаче взаимодействия магнитного поля накладного ВТП с электропроводящей трубой использование метода конечных элементов (МКЭ) позволяет осуществить анализ влияния на выходной сигнал преобразователя не только удельной электрической проводимости материала  $\sigma$ , толщины стенки  $T$  и наружного диаметра трубы  $D$ , зазора между ВТП и поверхностью трубы  $y$ , но, в отличие от упомянутых аналитических моделей, и анализ влияния линейной  $x$  и угловой  $\alpha$  несоосностей ВТП и трубы, неодинаковости толщины и наличия локальных утонений стенки трубы. В качестве объекта контроля рассматривалась широко распространенная бурильная труба из немагнитного материала с номинальным наружным диаметром  $D = 147$  мм. Частота тока возбуждения принималась равной 100 Гц.

На рис. 1, *а* схематично показана конструкция накладного трансформаторного ВТП, обычно используемого для контроля толщины стенки немагнитных электропроводящих изделий [1, 3, 4]. На рис. 1, *б* приведены полученные численным моделированием годографы относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы (сплошная линия) и зазора (пунктирная линия). Ромбовидными точками показаны результаты эксперимента. Анализ зависимостей рис. 1, *б* показывает, что результаты компьютерного и физического моделирования в данном диапазоне изменений влияющих параметров от-

личаются не более чем на 3 %, что говорит об их достаточно высокой адекватности.

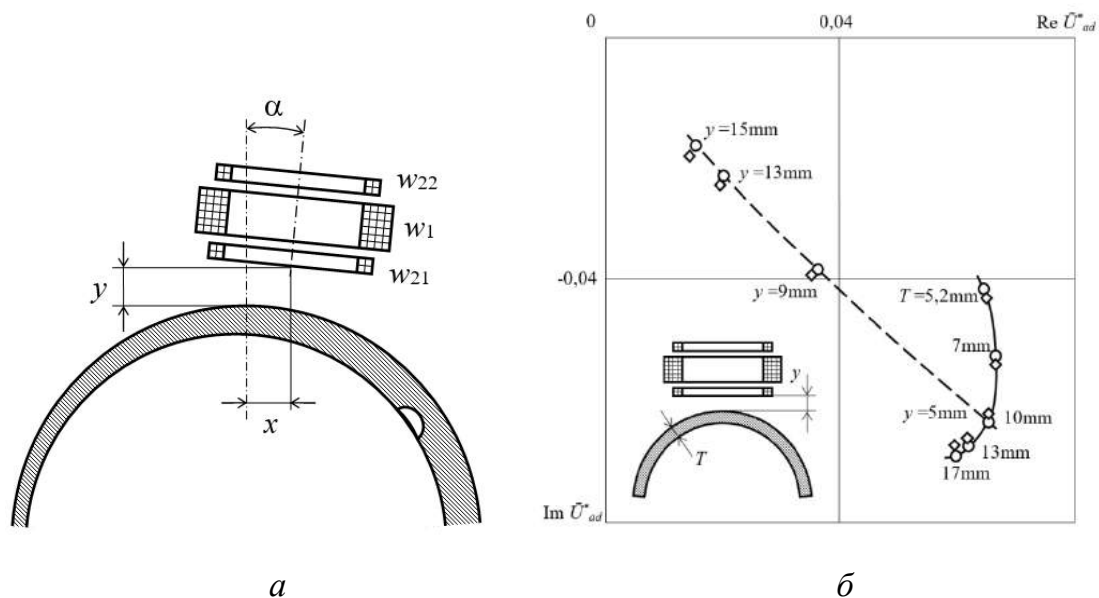


Рис. 1. Накладной ВТП, находящийся во взаимодействии с электропроводящей трубой (а) и расчетные (○) и экспериментальные (◇) зависимости относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы  $T$  и зазора  $y$  (б)

На рис. 2, а приведены полученные численным моделированием при других значениях влияющих параметров годографы относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы  $T$ , зазора  $y$  и удельной электропроводности материала  $\sigma$ . Качественно эти результаты совпадают с результатами, получаемыми при использовании аналитической модели [3]. Количественное расхождение в исследуемом диапазоне изменений влияющих параметров не превышает 7 %.

На рис. 2, б приведены результаты численного моделирования влияния на сигнал накладного ВТП кривизны поверхности объекта контроля. Пунктирной линией показан годограф от изменения зазора  $y$  для случая плоской поверхности. Сплошными линиями показаны годографы от изменения радиуса кривизны  $R$  в диапазонах (50...∞) мм и (−∞...−73) мм. При этом положительные значения радиуса соответствуют выпуклой поверхности (наружная поверхность трубы), а отрицательные значения радиуса – вогнутой поверхности (внутренняя поверхность трубы).

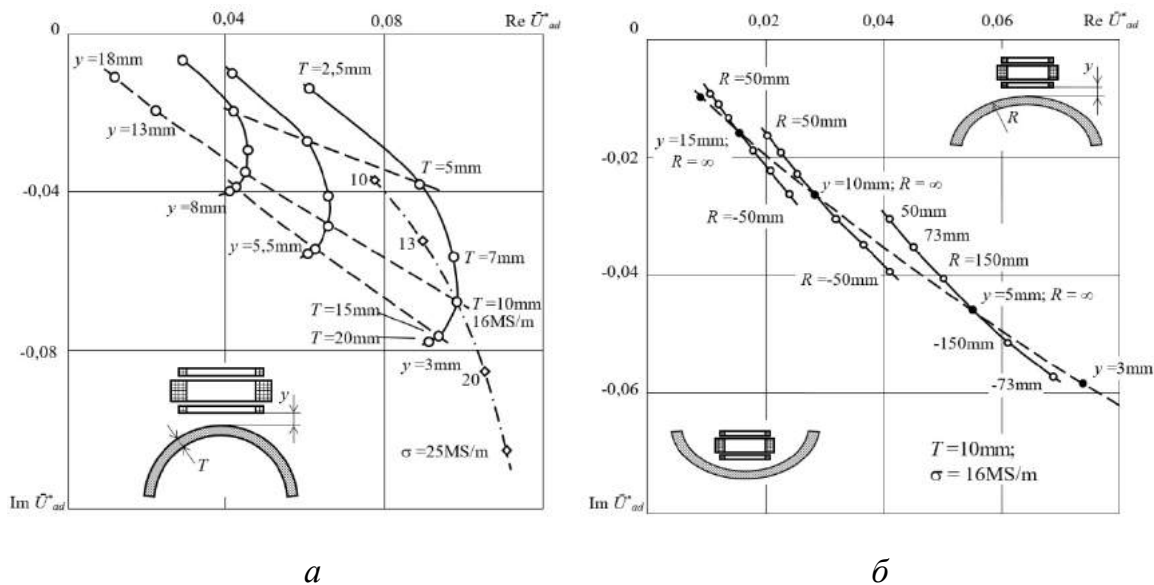


Рис. 2. Годографы относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины стенки трубы  $T$ , зазора  $y$  и удельной электропроводности материала  $\sigma$  (а) и от изменения зазора и радиуса кривизны поверхности объекта контроля (б)

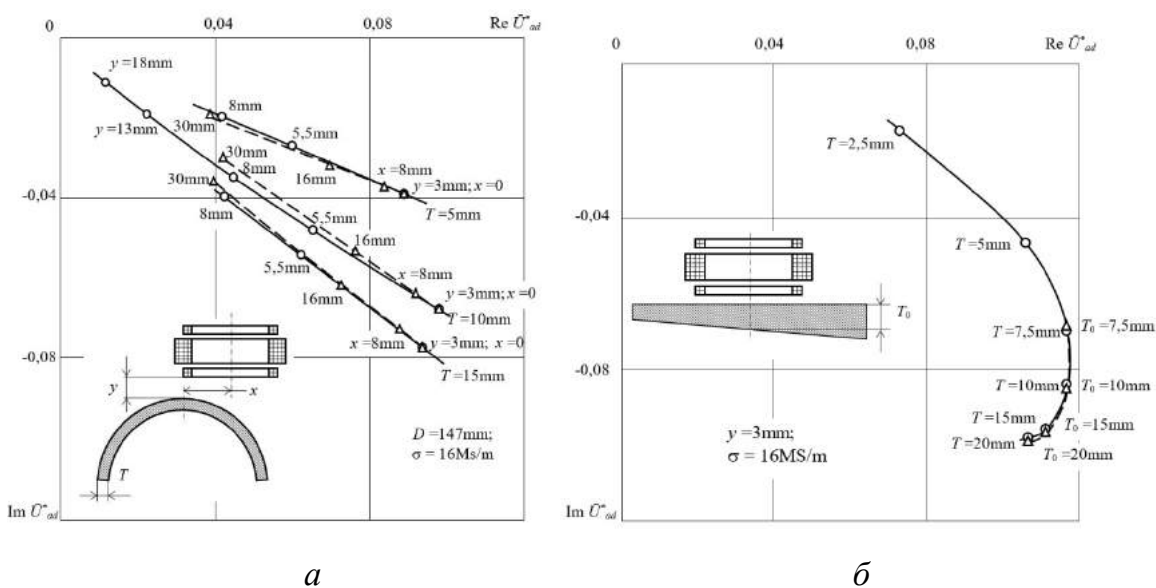


Рис. 3. Годографы относительного вносимого напряжения ВТП от смещения его продольной оси относительно поперечной оси трубы (а) и от изменения толщины плоского объекта (сплошная линия) и объекта клиновидной формы в нормальном сечении (пунктирная линия) (б)

На рис. 3, а приведены результаты численного моделирования влияния на сигнал накладного ВТП смещения  $x$  продольной оси ВТП относительно поперечной оси трубы. Пунктирными линиями показаны годографы от изменения  $x$  для трех значений толщины  $T$  трубы, а

сплошными – годографы от изменения зазора  $u$  для этих же значений толщины. Анализ результатов моделирования показывает, что годографы от смещения  $x$  представляют собой близкие к прямым линии, практически совпадающие с годографами от изменения зазора  $u$ . На рис. 3, б приведен годограф относительного вносимого напряжения ВТП от изменения толщины объекта клиновидной формы в нормальном сечении (пунктирная линия), практически полностью совпадающий с годографом от изменения толщины плоского объекта (сплошная линия). Отсюда следует, что сигнал ВТП при его расположении над объектом с данным характером изменения толщины и значением толщины стенки  $T_0$  на продольной оси преобразователя, соответствует сигналу ВТП, расположенному над плоским объектом с толщиной стенки  $T_0$ .

Для моделирования взаимодействия магнитного поля накладного ВТП с электропроводящим объектом контроля в случаях сложных форм объекта и обмоток преобразователя либо несимметричном расположении преобразователя относительно объекта эффективными являются методы численного моделирования и, в частности, метод конечных элементов. Проанализировано влияние на сигнал ВТП основных влияющих факторов: толщины стенки трубы, зазора между преобразователем и поверхностью трубы, электропроводности материала, кривизны стенки трубы, наличия участков с плавным изменением толщины клиновидного характера, поперечного смещения оси преобразователя. Полученные результаты играют большую роль для интерпретации изменений сигнала вихретокового преобразователя толщины и отстройки от влияния указанных мешающих факторов при создании систем неразрушающего контроля толщины электропроводящих немагнитных изделий.

#### **Список информационных источников**

1. Songling H, Shen W. *New Technologies in Electromagnetic Nondestructive Testing*. – Springer Singapore, 2016. – 221 p.
2. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля: монография. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – 288 с.
3. Неразрушающий контроль. Справочник под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.
4. Sandovskii V. Measurements of the thickness and electrical conductivity of nonmagnetic plates by an eddy-current method // *Measurement Techniques*, 2013. – Vol. 55. – No. 10. – pp. 1201–1208.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ ОТ НЕРАСТВОРЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ЗАТОПЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ ЗАКРЫТЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

*Л.В. Бондарева*

*Кемеровский государственный университет, г. Кемерово  
Научные руководители: Захаров Ю.Н. д.ф.-м.н., профессор, заведующий  
кафедры ЮНЕСКО по ИВТ, ИФН КемГУ; Гудов А.М., д.ф.-м.н.,  
профессор кафедры ЮНЕСКО по ИВТ, директор ИФН КемГУ.*

В данной работе предлагается оригинальная математическая модель, описывающая процесс очистки жидких промышленных стоков в отработанных выработках закрытых и затопленных угольных шахт. В настоящее время данный метод реализуется для очистки шламовых стоков углеобогатительной фабрики «Комсомолец» в отработанных выработках ш. «Кольчугинская». Но из-за технических сложностей производить изучение происходящих внутри выработки процессов очистки затруднительно, а предлагаемая математическая модель является удобным инструментом для этого.

В модели учитываются характерные особенности шламовых гидросмесей, влияние гидродинамических факторов на процессы очистки, возможность слеживания осадка и изменения формы выработки. Математическая модель представлена в виде дифференциальных уравнений в частных производных с начальными и краевыми условиями и состоит из системы уравнений Навье-Стокса или уравнения Гельмгольца и уравнений переноса примеси. Для решения используется методом сеток. Уравнения параболического типа решаются неявной схемой стабилизирующих поправок. Разностные эллиптические уравнения решаются методом минимальных невязок неполной аппроксимации с параметром – матрицей с использованием покомпонентной и глобальной оптимизации итерационных параметров.

В работе приводятся результаты численного моделирования полученные для примесей разных фракций. Приводятся оценки времени «безопасного» использования отработанной горной выработки как очистного сооружения и проводится сравнение с натурными данными. Все приведенные расчеты получены со значениями параметров, отвечающим реальным размерам ш. «Кольчугинская».



### Список информационных источников

1. Saletti M., Molnar P., Hassan M.A., Burlando P. A: reduced-complexity model for sediment transport and step-pool morphology // Earth Surf. Dynam., 2016. – № 4. – pp. 549–566.
2. Carretier S., Martinod P., Reich M., Godderis Y. Modelling sediment clasts transport during landscape evolution //Earth Surf. Dynam., 2016. — № 4. – pp. 237–251.
3. Lubartseva S., Coppini G., Pinardi N., De Dominicis M., Lecci R., Turrisi G., Creti S., Martinelli S., Agostini P., Marra P., Palermo F. Decision support system for emergency management of oil spill accidents in the Mediterranean Sea // Earth Surf. Dynam., 2016. – № 16. – pp. 2009–2020.
4. Захаров Ю.Н, Потапов В.П., Счастливец Е. Л., Чирюкина А.В. Моделирование распространения примесей в затопленных горных выработках. – Кемеровский государственный университет, Кемерово, 2013. – 96 с.
5. Zakharov Yu, Bondareva L. Simulation of Domestic and Industrial Wastewater Disposal in Flooded Mine Working // Procedia Engineering [Proc. of the International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities (SPbUCEMF-2015)]. – 2015. – Vol. 117. – pp. 389–396.

*Работа написана в рамках выполнения проектной части  
гос. задания 1.630.2014/К и базовой части 2014/64.*

# ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО ПРОФИЛОМЕТРА

*Е.А. Бугаев, Е.М. Федоров, А.О. Плетнев*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

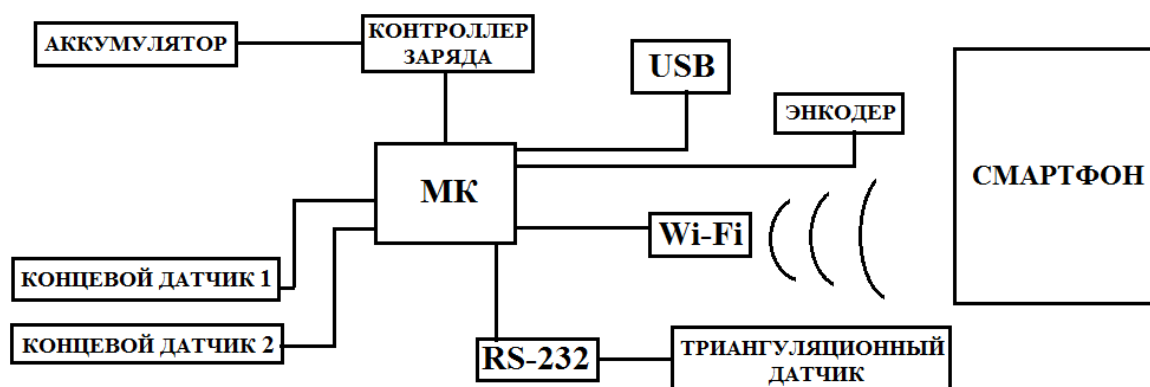
*Научный руководитель: Федоров Е. М., к.т.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

В результате длительной эксплуатации железнодорожных рельсов происходит их износ в результате истирания головок рельсов, возникающего при взаимодействии их с колёсами подвижного состава.

С помощью измерений профиля рельса можно определить характер и величину износа и сделать вывод о его пригодности. Одним из приборов, позволяющих сделать подобные измерения является профилометр.

*Структурная схема*

В течение первого семестра 2015/2016 учебного года были разработаны принципиальная и структурная схемы, а также конструкция прибора. Затем прибор был реализован на практике.



*Рис. 1. Структурная схема профилометра*

Далее приведена принципиальная схема электронного блока профилометра (рис. 2).

После сканирования лазерным датчиком профиля рельса вся информация передается в электронный блок, где происходит обработка данных, и их последующая передача на компьютер или мобильное устройство с помощью wi-fi модуля (рис. 3) для построения изображения профиля рельса и сравнения его со стандартом.

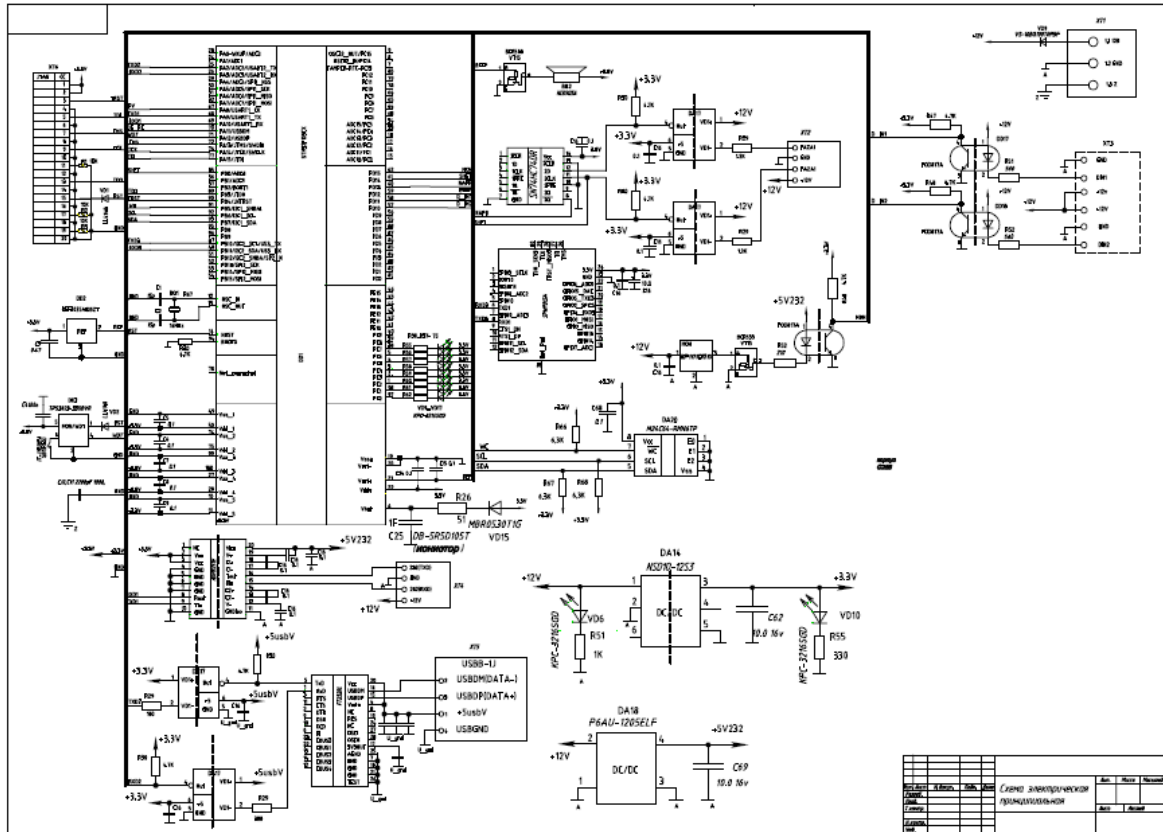
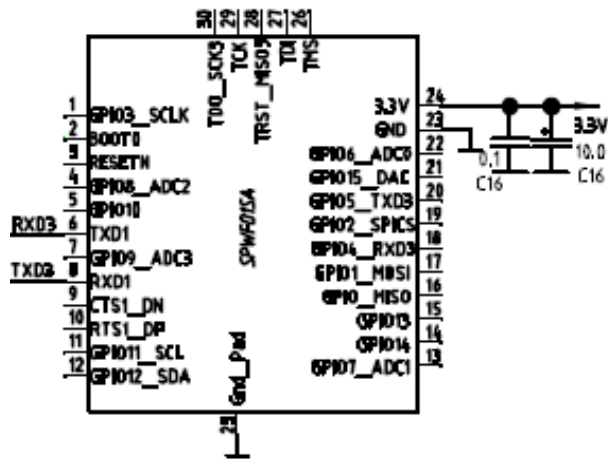


Рис. 2. Принципиальная схема профилометра



При поступлении сигнала от лазерного датчика информация о направлении движения датчика и данные о профиле поступают на микроконтроллер через две гальванических развязки и D-триггер (рис. 4). Обе развязки используются для определения направления, а нижняя в том числе и для счета. Данные о профиле хранятся в памяти EEPROM.

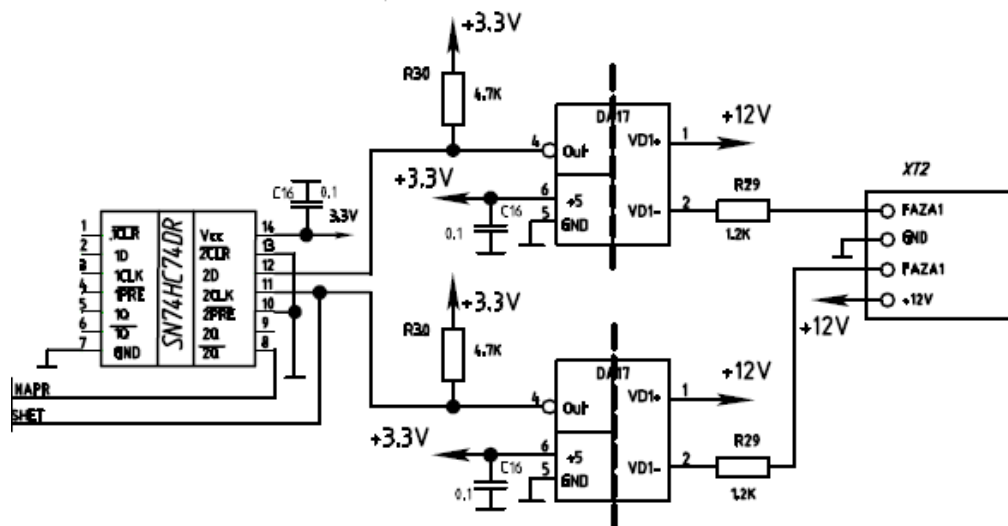


Рис. 4. D-триггер и гальванические развязки

Также в электронном блоке используется монитор питания (рис. 5), который срабатывает при падении напряжения источника питания до 9 вольт. В этом случае сигнал подается на микроконтроллер и прибор переходит в спящий режим, при этом долго быть запитанным контроллеру позволяет встроенный и онистр с конденсатором емкостью 1 фарад.

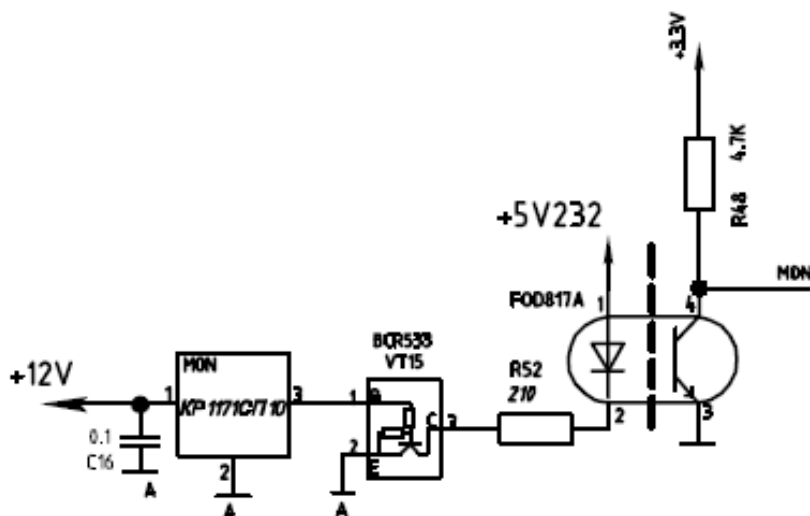


Рис. 5. Монитор питания

Элемент ХТЗ (рис. 6)используется для концевиков. При прохожде-нии датчика по дуге и достижения крайнего положения оптический сигнал блокируется. Это сделано для того чтобы зафиксировать начальное положение и начинать измерение профиля только с него.

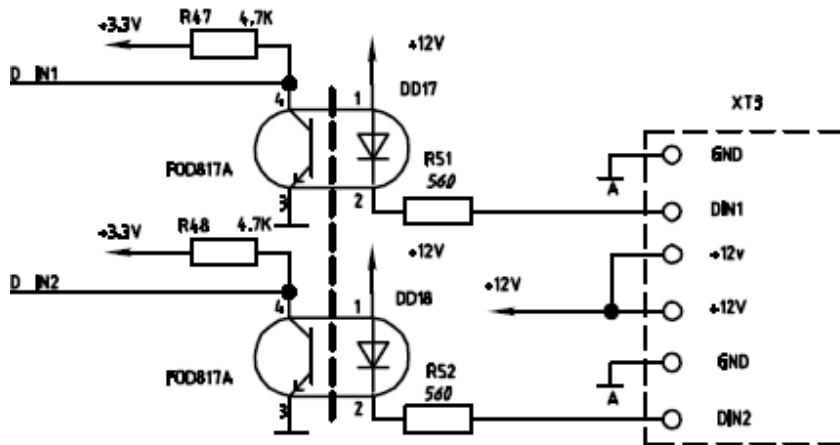


Рис. 6. Часть схемы, отвечающая за фиксацию крайних положений датчика

Также в электронном блоке имеются USB-интерфейс (рис. 7) для связи с компьютером, интерфейс RS-232 (рис. 8) для выполнения измерений и преобразователи питания для этих элементов с гальваническими развязками.

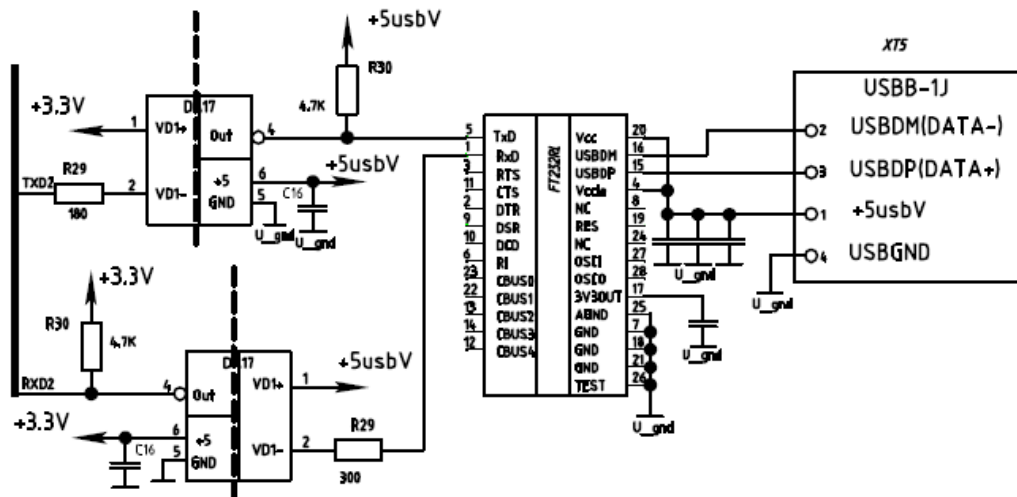


Рис. 7. USB-интерфейс

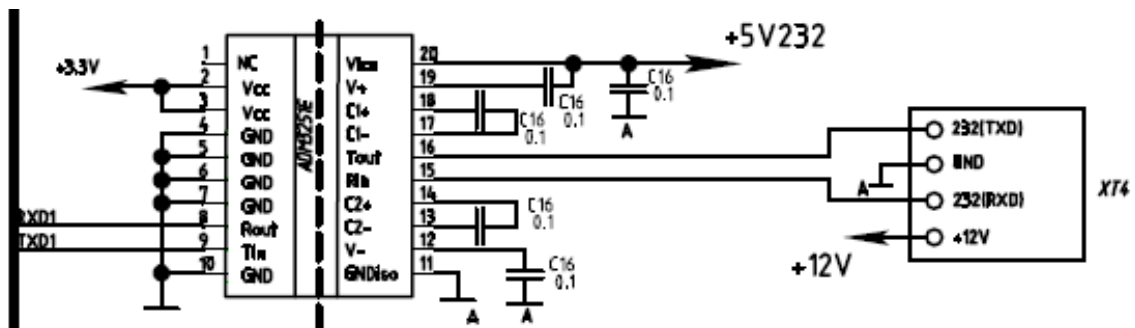


Рис. 8. Интерфейс RS-232

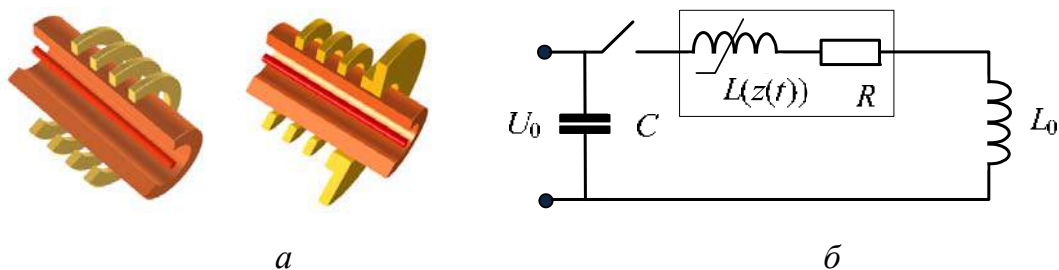
# ОПТИМИЗАЦИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ИНДУКТОРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

*А.А. Будько, О.В. Васильева*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Васильева О.В., к.т.н., доцент кафедры  
электрических сетей и электротехники ТПУ*

В работе описывается оптимизация индуктивности индуктора на основе экспериментальных данных для диагностики коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ). Данные для исследования были получены экспериментальным путем для двух различных моделей КМПУ двойного назначения. Практическое использование ускорителя с одной стороны заключается в нанесении различных функциональных покрытий и получении ультрадисперсных порошков металлов, а с другой стороны как устройство для ускорения вылета плазменной струи [1].

На рис. 1, *а* представлены используемые упрощенные модели данного КМПУ с электротехнической схемой замещения (рис. 1, *б*). Батарея конденсаторов емкостями  $C = 30 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$ ,  $C = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$  для двух различных моделей, заряжается до напряжения  $U_0 = 3 \text{ кВ}$ , сопротивление цепи  $R = 10^{-3} \text{ Ом}$ .



*Рис. 1. Упрощенные модели КМПУ, отличающиеся емкостью и формой соленоида: а – сечение плазменного ускорителя; б – схема замещения*

Новизна методики заключается в том, что сложные процессы, протекающие в КМПУ, заменяются расчетом электротехнической схемы замещения (рис. 1, *б*) известными методами. Индуктивность индукторов  $L_0$  рассчитана на основе расчета векторного магнитного потенциала с последующим расчетом энергии магнитостатического поля [2, 3] и равна  $L_0 = 8,764 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$ ,  $L_0 = 1,722 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$  соответственно для двух моделей КМПУ. Индуктивность плазменного жгута  $L'$  записана в виде линейной функции координаты распространения [3] и для двух моделей равна  $L' = 4,6 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$ .

### Влияние индуктивности индуктора

Рассмотрим кинетическую энергию  $W_{кин}$  двух моделей КМПУ (рис. 1, а), которая изображена на рис. 2.

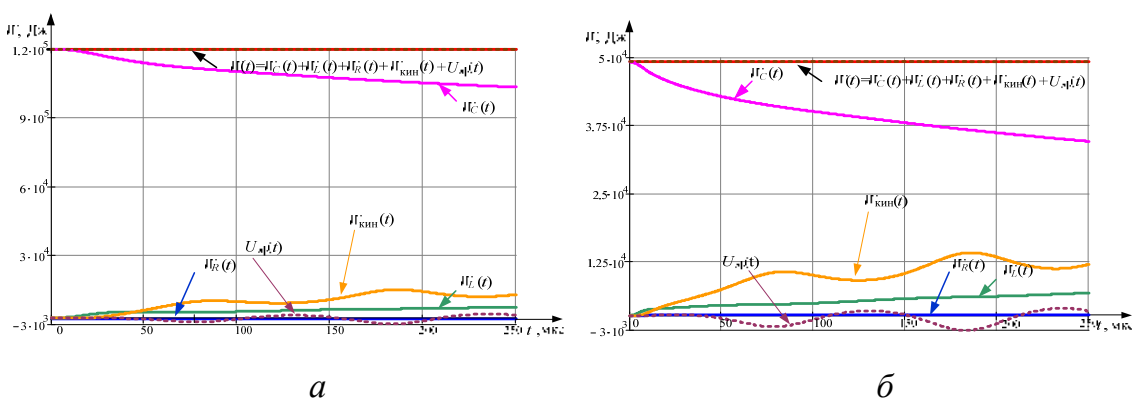


Рис. 2. Кинетическая энергия двух моделей в сравнении:

а – модель № 1 –  $W_{кин} \cdot 100 \% / W_0 = 8,3 \%$ ; б – модель № 2 –  $W_{кин} \cdot 100 \% / W_0 = 20,2 \%$

Полученные зависимости наглядно иллюстрируют, что в качестве ускорителя плазменного сгустка целесообразно применять модель № 2, так как вклад кинетической энергии значительно выше, нежели у модели № 1. Это обусловлено тем, что индуктивность индуктора данной модели № 2 значительно ниже. После анализа исходных энергий системы двух моделей КМПУ рассмотрим влияние индуктивности индуктора на кинетическую энергию, представленное на рисунке ниже (рис. 3).

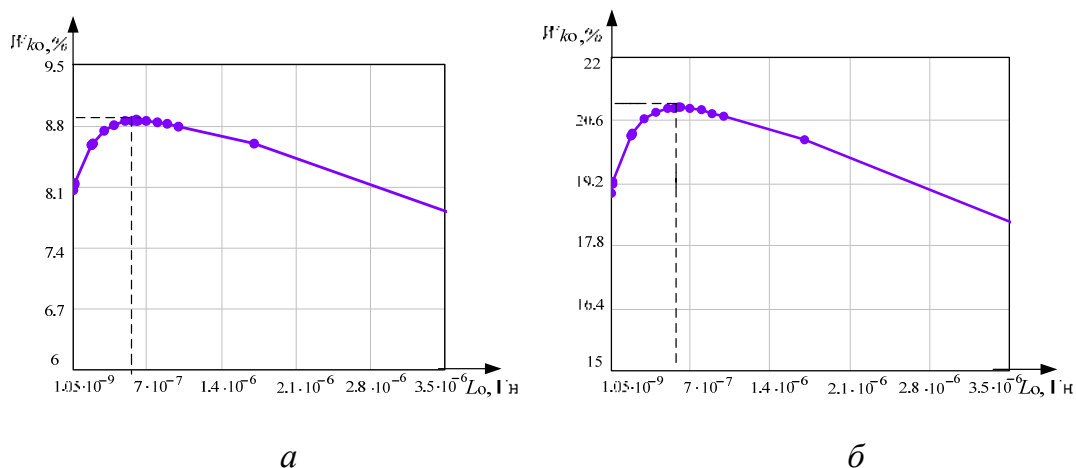


Рис. 3. Влияние индуктивности индуктора КМПУ на кинетическую энергию в сравнении, где  $W_{k0} = W_{кин} \cdot 100 \% / W_0$ ,  $L_{0min} = 1,05 \cdot 10^{-9}$  Гн:

а – модель № 1; б – модель № 2

Оптимальное значение индуктивности индуктора для кинетической энергии двух моделей КМПУ равно  $L_0 = 6 \cdot 10^{-7}$  Гн. При этом значении

энергия достигает максимального значения:  $W_{\text{кин}} = 9\%$  и  $W_{\text{кин}} = 21\%$  соответственно. Увеличение кинетической энергии происходит за счет преобладания продольной составляющей скорости частиц в плазменном сгустке, что увеличивает скорость вылета (рис. 6, б).

Снижение кинетической энергии в диапазоне индуктивностей  $L_0 = (1,05 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-7})$  Гн приводит к неустойчивости плазмы, где дисбаланс энергии [3] за счет высокочастотных составляющих тока проявляется при  $L_{0\text{min}} = 1,05 \cdot 10^{-9}$  Гн.

В диапазоне индуктивностей индуктора ускорительного канала  $L_0 = (6 \cdot 10^{-7} - 3,5 \cdot 10^{-6})$  Гн уменьшается кинетическая энергия за счет преобладания поперечной составляющей скорости заряженных частиц, что в свою очередь уже положительно влияет на эрозию металла количеством ультрадисперсных порошков (рис. 4, а).

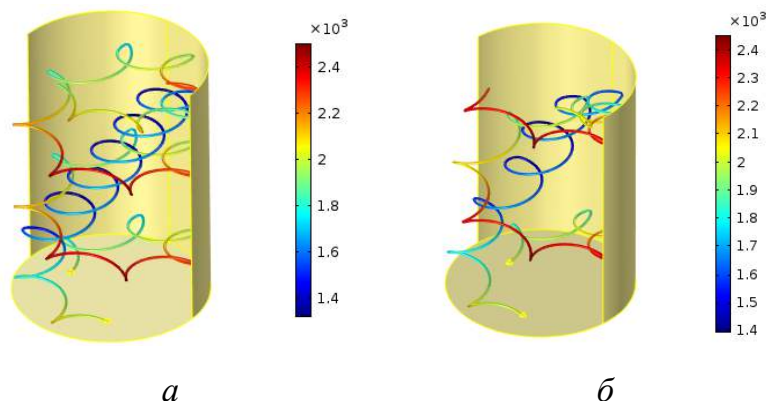


Рис. 4. Вид пространственной траектории заряженных частиц: а – преобладание поперечной составляющей скорости частиц; б – преобладание продольной составляющей скорости частиц

Для ограничения траектории движения заряженных частиц в пределах ствола введена потенциальная функция  $U(x, y)$  – «потенциальная яма», имеющая следующий вид:

$$U(x, y) = \beta \left[ 1 - e^{-\rho(x, y)^{48} \alpha} \right].$$

При моделировании потенциальной ямы учитывалось, что:  $\beta = 10^4$ ,  $\alpha = 10^{-60}$ .

#### Моделирование потенциальной ямы в COMSOL Multiphysics

При моделировании потенциальной ямы применялась среда COMSOL Multiphysics, позволяющая наглядно отобразить ограничение разлета частиц плазмы в пространстве и показать преимущества попе-



речной и продольной составляющих скоростей заряженных частиц в плазменном сгустке (рис. 4).

Используя потенциальную функцию и уравнение динамики заряженных частиц в электромагнитных полях в векторной форме, получим:

$$m \ddot{\mathbf{r}} = e\mathbf{B} \times \mathbf{v} + e\mathbf{E} - \nabla U(\mathbf{r}), \quad \mathbf{B} = \text{rot}(\mathbf{A}) = \begin{pmatrix} \mathbf{e}_x & \mathbf{e}_y & \mathbf{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{pmatrix}.$$

Для повышения точности расчета полученная система дифференциальных уравнений второго порядка предварительно была сведена к системе дифференциальных уравнений первого порядка и решена методом Рунге–Кутты [3]. При заданной конфигурации электромагнитного поля наблюдаем спиралевидное движение частиц.

Соприкасаясь со стенками, частицы вызывают эрозию, в результате которой изменяется масса плазмы.

#### *Результаты*

Представлена оптимизация индуктивности индуктора на основе экспериментальных данных для диагностики магнитоплазменного ускорителя, которая определяет практическое использование ускорителя двойного назначения за счет изменения величины индуктивности индуктора.

Для повышения качества исследуемого устройства сравнительные численные эксперименты показали:

- для повышения кинетической энергии необходимо у модели № 1 уменьшить, а у модели № 2 увеличить индуктивность индуктора;
- для повышения эрозии металла и получения ультрадисперсных порошков целесообразно использовать КМПУ модели №1.

#### **Список информационных источников**

1. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С. Электроэрозийная наработка материала в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе для нанесения покрытий // Электротехника. – 2005. – № 6. – С. 25–33.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Т. 2: Теория поля. – М.: Наука, 1992. – 533 с.
3. Исаев Ю.Н., Васильева О.В. Методы расчета электромагнитных полей. Практика использования MathCAD, COMSOL Multiphysics. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 162 с.

## НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ В ПРОТЕЗИРОВАНИИ

*Р.С. Ворона*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Авдеева Д.К. д.т.н., профессор*

Одной из проблем, которой занималась и продолжает заниматься медицина, является проблема исцеления увечий и физиологических недостатков человеческого тела. Жизнь человека с древних времен опасна и непредсказуема, в течение неё случаются несчастья, приводящие к увечьям или возникновением дисфункций [1].

Протезирование оставалось слабо развитым на протяжении нескольких тысячелетий до развития механики. Самыми известными образцами старейших протезов являются обыкновенные деревянные ноги – подставки и протезы рук с крюками. В то время уже произошло разделение протезов на две группы: функциональные и косметические.

Развитие технологического уровня изобретений человека и стремление заменить простую неподвижную конструкцию протеза, на что-то большее, что могло бы восполнить недостающую конечность, привело к тому, что человек придумывал различные приспособления, которые могли бы управлять протезами, которым пытались придать подвижность. Эти устройства принято называть интерфейсами взаимодействия между человеком и машиной.

В то время как в науке и технике человечества происходили революционные изменения, связанные с научными прорывами, изменявшими научную парадигму, технологии интерфейсов протезов проходили через свои революции. По критическим технологиям, которые использовались и продолжают использоваться в интерфейсах протезов можно выделить четыре основных революции в построении интерфейсов:

- I революция: появление механической руки;
- II революция: эра электрофизиологии;
- III революция: эра синтеза;

В 1929 году немецкому врачу-нейрофизиологу Хансу Бергеру впервые удалось снять показания электроэнцефалографа и подтвердить гипотезу о том, что действия человека всегда связаны с повышением активности отдельных зон коры головного мозга [2]. С тех пор многие исследователи неоднократно хотели научиться «читать мысли», пытаясь расшифровать электроэнцефалограмму. Но мешали технические причины: недостаточное пространственное разрешение электроэнцефалографов (то есть не удавалось в подробностях получить картину распре-

ления потенциалов), а также отсутствие возможности хранить и обрабатывать в режиме реального времени огромные массивы данных. Развитие технологий в конце XX – начале XXI века [3], такой как микропроцессорная техника, позволило по-новому взглянуть на перспективы техники. Миниатюризация микропроцессорной техники и увеличение её мощностей позволило подробно изучить электрическую активность мозга, и открыла возможность управления электрическими устройствами при помощи мысли.

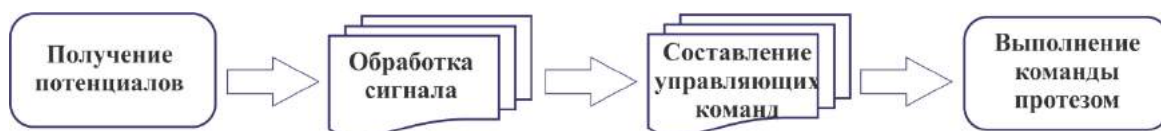
Под нейрокомпьютерным интерфейсом понимают устройство, которое позволяет расшифровать нейронные сигналы мозга, относящиеся к какой-то части тела – скажем, к руке или ноге. Но для этого нужно знать, какие нейроны управляют конечностями и что именно они командуют своими сигналами. И если узнать всё это, то можно научить мозг управлять искусственной ногой или рукой, как своей собственной.

Нейрокомпьютерные интерфейсы являются одним из самых приоритетных направлений развития интерфейсов. Данный вид интерфейсов использует в качестве информативного параметра биоэлектрическую активность мозга. При этом взаимодействие осуществляется напрямую между мозгом и электроникой, без использования периферической нервной системы. Развитие нейрокомпьютерных интерфейсов позволят помочь людям, страдающим таким заболеванием, как тетраплегия, или любой другой формой паралича. Кроме того, данный вид интерфейса полезен в тех случаях, когда отсутствует любой другой способ управления протезом. В дополнение разработка сенсорных нейрокомпьютерных интерфейсов позволит восстанавливать сенсорные функции и передавать информацию напрямую в мозг.

Нейрокомпьютерные интерфейсы могут быть как инвазивными, так и неинвазивными. Неинвазивные системы основаны на улавливании электрических сигналов мозга с поверхности кожи головы. Иными словами, в них используется та самая электроэнцефалограмма (ЭЭГ) которую можно сделать в любой современной больнице. Конечно, проходя сквозь кости черепа и кожу, электрические сигналы мозга существенно ослабляются и искажаются, поэтому неинвазивные интерфейсы уступают инвазивным по точности выполнения “бинарных” команд (вверх-вниз, включить-выключить). Соответственно, пациентам, использующим неинвазивные интерфейсы, требуется более длительная тренировка. Однако эти недостатки компенсируются безопасностью неинвазивных интерфейсов и, возможно, за неинвазивными интерфейсами будущее. Инвазивные системы основаны на вживлении в нужные участки мозга матрицы из сверхтонких электродов. Однако вживление матрицы электродов требует небезопасной хирургической операции. К то-

му же остается открытым вопрос о долговременной биосовместимости материала электродов и мозговой ткани.

Сущность такого способа управления протезом заключается в регистрации с помощью электродов сигнала электрической активности мозга, затем осуществляется обработка сигнала при помощи входных цепей усилителя и преобразование его в цифровой код, цифровой код анализируется микроконтроллером блока управления и преобразуется в команду для исполнительного механизма протеза (рис. 1) [4].



*Рис. 1. Блок-схема работы системы управления протезом*

В настоящее время протезирование на основе нейрокомпьютерного интерфейса активно развивается, ученые со всего мира разрабатывают новые алгоритмы для более эффективной обработки данных полученных от головного мозга. Наиболее часто используемым нейроимплантатом является кохлеарный имплантат, которым пользуется около 100 000 человек по всему миру (по данным на 2006 год). Существуют также нейропротезы для восстановления зрения, например, имплантаты сетчатки. Так же существуют нейропротезы для восстановления слуха, протезы для облегчения боли, имплантаты, контролирующие мочеиспускание, двигательные протезы для сознательного контроля движением.

### **Список информационных источников**

1. 5,000-Year-Old Artificial Eye Found on Iran-Afghan Border [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.foxnews.com/story/2007/02/20/5000-year-old-artificial-eye-found-on-iran-afghan-border> 01.10.2016.
2. Крепкий, Р.С., Ласков П.Д., Курио Г.А., Бланкерц Б.В. По моему хотению... Берлинский нейрокомпьютерный интерфейс // Наука и жизнь. - 2004 - №11. – С. 1-7.
3. Von Neumann J., 1945. First Draft of a Report on the EDVAC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <URL:sites.google.com/site/michael-dgodfrey/vonneumann/vnedvac.pdf?attredirects=0&d=1> 01.10.2016
4. Чернышев А.А., Мустецов Н.П. Алгоритм управления многофункциональным протезом руки // Информационные технологии в медицине. – 2014. – №122. – С. 167–172.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦЕССИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

*Е.В. Глиненко<sup>1</sup>, К.В. Мельнов<sup>2</sup>, А.Р. Хайруллин<sup>2</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научные руководители:<sup>1</sup>Мойзес Б.Б., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества, <sup>2</sup>Гаврилин А.Н., доцент кафедры технологии машиностроения и промышленной робототехники*

Одной из основных тенденций развития металлообрабатывающего оборудования, при неизменном условии сохранения требуемого качества, является улучшение его эксплуатационных характеристик, в первую очередь, производительности. Повышение производительности достигается посредством:

- интенсификации режимов резания – высокоскоростное резание и увеличение глубины резания, что стало возможно с появлением современных композиционных материалов;
- многокоординатной обработки за счет концентрации различных технологических операций на одном технологическом оборудовании, вследствие создания обрабатывающих центров с функциями токарных, фрезерных и других типов станков, а также за счет одновременной обработки нескольких заготовок в нескольких шпинделях;
- применения многошпиндельных станков.

Расширение диапазона режимов резания в первом случае и усложнение конструкции металлообрабатывающего оборудования во втором, приводит к увеличению вероятности возникновения вибрации с повышенными амплитудами [1, 2].

Помимо всего причиной повышения уровня вибрации может стать дисбаланс вращающихся деталей и узлов, особенно у станков фрезерной группы или токарно-фрезерных обрабатывающих центров, работающих в условиях ударных нагрузок.

Имеющийся дисбаланс приводит к прецессии – вибрации, геометрического центра ротора в плоскости, перпендикулярной оси ротора.

В этом аспекте особое внимание следует уделить работе шпиндельных узлов, непосредственно обеспечивающих точность обработки.

Поэтому целью работы стало исследование вопросов прецессии шпиндельных узлов фрезерных станков методом математического моделирования.

### **Список информационных источников**

1. Gavrilin A., Moyzes B., Zharkevich O. Constructive and processing methods of reducing vibration level of the metalworking machinery elements. *Journal of Vibroengineering*, 17 (7), pp. 3495-3504.
2. Alexey Gavrilin, Boris Moyzes, Alexzander Cherkasov, Kirill Mel'nov, Xiaoliang Zhang. Mobile complex for rapid diagnosis of the technological system elements. *MATEC Web of Conferences* 79 (2016) 01078. <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20167901078>.

# ВЛИЯНИЕ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ НА БИОХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ЗАКВАСКИ

*С.Б. Гуробазарова*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Хамагаева И.С. профессор, доктор технических наук*

*В данной работе представлены результаты культивирования комбинированной закваски, соотношение культур *Lactobacillus helveticus* 3<sub>5-1</sub> и *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* AC 2503 в которой 40:60, на обезжиренном молоке, с добавлением рыжикового масла. Подобрана оптимальная доза внесения рыжикового масла, обеспечивающая более высокую кислотообразующую способность и количество жизнеспособных клеток в комбинированной закваске.*

**Ключевые слова:** *полиненасыщенные жирные кислоты, рыжиковое масло, лактобактерии, холестерин, биохимическая активность, профильный метод.*

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной заболеваемости, смертности и инвалидности населения, вызывая наибольшее количество социальных и экономических потерь. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), 23 % случаев преждевременной смерти от ССЗ вызваны избытком холестерина, вызывающим атеросклероз артерий сердца и головного мозга.

В последние годы накоплено значительное количество данных о том, что резидентная и транзиторная микрофлора хозяина, синтезируя, трансформируя или разрушая экзогенные и эндогенные стерины, активно участвует в холестеринном метаболизме. Это позволяет рассматривать микрофлору хозяина как важнейший метаболический и регуляторный орган участвующих в кооперации с клетками хозяина в поддержании гомеостаза холестерина.

Анализ опубликованных в литературе данных о биологически активных соединениях, продуцируемых пробиотическими микроорганизмами, показал, что до настоящего времени биотехнологический потенциал анаэробных микроорганизмов бифидобактерий, пропионовокислых и лактобактерий практически не используется. Между тем не вызывает сомнения, что эти микроорганизмы являются новым источником промышленного получения ценных метаболитов в биопродуктах [4, 5].

Лактобактерии длительное время привлекают внимание биотехнологов ввиду их потенциального значения для сохранения здоровья,

профилактики и лечения многих заболеваний. Увеличивается число публикаций о способности некоторых штаммов лактобактерий проявлять гипохолестеринемический эффект, такой же эффект имеют полиненасыщенные жирные кислоты.

Рыжиковое масло является источником полиненасыщенных жирных кислот, которое по своему химическому составу схоже с кедровым маслом и отличается высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, биологическая роль которых, связана с обеспечением структурно-функциональных характеристик биологических мембран, участием в функционировании иммунной, нервной и сердечно-сосудистой систем. Также в нем содержится высокое количество витаминов А, Е, D и магния [6].

Использование рыжикового масла в производстве кисломолочных пробиотических продуктах будет являться дополнительным фактором роста клеток и увеличения холестериндеградирующей активности бактерий. Важно отметить, что благодаря низкой себестоимости рыжиковое масло значительно отличается от кедрового и льняного масел, следовательно, использование рыжикового масла в производстве кисломолочных продуктах для массового потребления будет выгодным решением.

Важность проведения исследований в области микробной экологии, изучения мутагенеза метаболизма холестерина пробиотическими микроорганизмами определяется необходимостью создания биопродуктов массового потребления в соответствии с ГОСТ 32923-2014 для поддержания и сохранения здоровья населения, которые составят достойную конкуренцию традиционным лекарственным средствам [2].

Целью работы является исследование влияния рыжикового масла на биохимическую активность комбинированной закваски, определение оптимальной дозы внесения рыжикового масла для последующей разработки кисломолочного биопродукта с холестериндеградирующей активностью.

Объекты исследований: чистые культуры пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* AC 2503, штамм *Lactobacillus helveticus* 3<sub>5-1</sub> (пробиотические микроорганизмы), рыжиковое масло-ГОСТ 10113-62[3].

Методы исследований:

### **1. Физико-химические методы исследований**

Отбор и подготовка проб к анализу - по ГОСТ 26809 и нормативным документам, действующим на территории государств, принявших стандарт.



Определение внешнего вида и цвета осуществляют визуально, консистенции, вкуса и запаха проводят органолептически и характеризуют в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013[1].

Определение температуры продукта при выпуске с предприятия и массы нетто продукта – по ГОСТ 3622 и нормативным документам, действующим на территории государств, принявших стандарт.

Определение массовой доли жира – по ГОСТ 5867 и нормативным документам, действующим на территории государств, принявших стандарт.

Определение массовой доли белка – по нормативным документам, действующим на территории государств, принявших стандарт.

Определение кислотности – по ГОСТ 3624-92 и нормативным документам, действующим на территории государств, принявших стандарт. Производится титрованием 0,1н раствором едкого натра с фенолфталеином и выражали в градусах Тернера.

Величину активной кислотности – потенциометрическим методом на приборе рН-222.2 по ГОСТ 3624-87.

## **2. Микробиологические методы исследований**

Количество клеток пропионовокислых бактерий определяли методом предельных разведений на среде ГМК или ГМС по ТУ 10-10-02-789-192-95.

Количество клеток лактобактерий определяли методом предельных разведений на плотной агаризованной среде MRS по ТУ 10-10-02-789-192-95.

Морфологию бактерий изучали путем приготовления препаратов, окрашенных метиленовым синим, или по Граму с последующим микроскопированием в иммерсионной системе с объективом 90.

На первом этапе исследований было изучено влияние различных доз рыжикового масла на рост комбинированной закваски, соотношение культур *L. helveticus* и *P. Shermanii* в которой 40:60. Исследуемое количество вносимого рыжикового масла 0,5 %; 1 %; от объема питательной среды.

Влияние различных доз внесения рыжикового масла на рост комбинированной закваски оценивали по кислотообразующей активности, количеству жизнеспособных клеток. Результаты представлены на рис. 1 и 2.

Как показывают, данные рис. 1 и 2 с увеличением дозы внесения рыжикового масла наблюдается: повышение кислотообразующей способности лактобактерий, что свидетельствует об активации биохимической активности, а также происходит существенное увеличение количества клеток в комбинированной закваске.

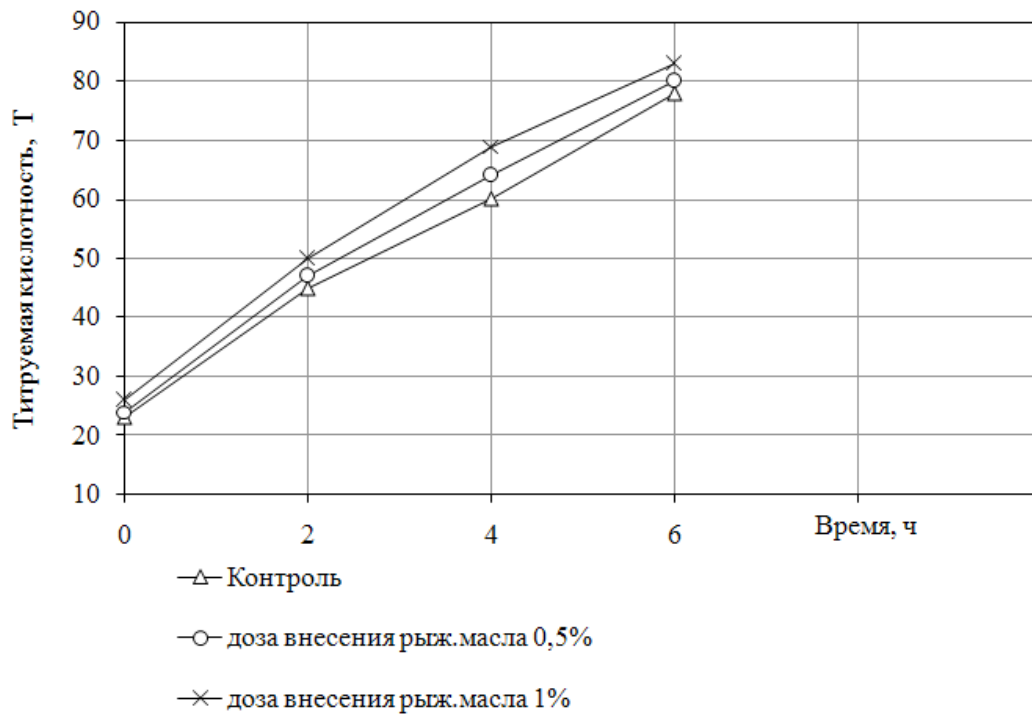


Рис. 1. Влияние дозы внесения рыжикового масла на активность кислотообразования

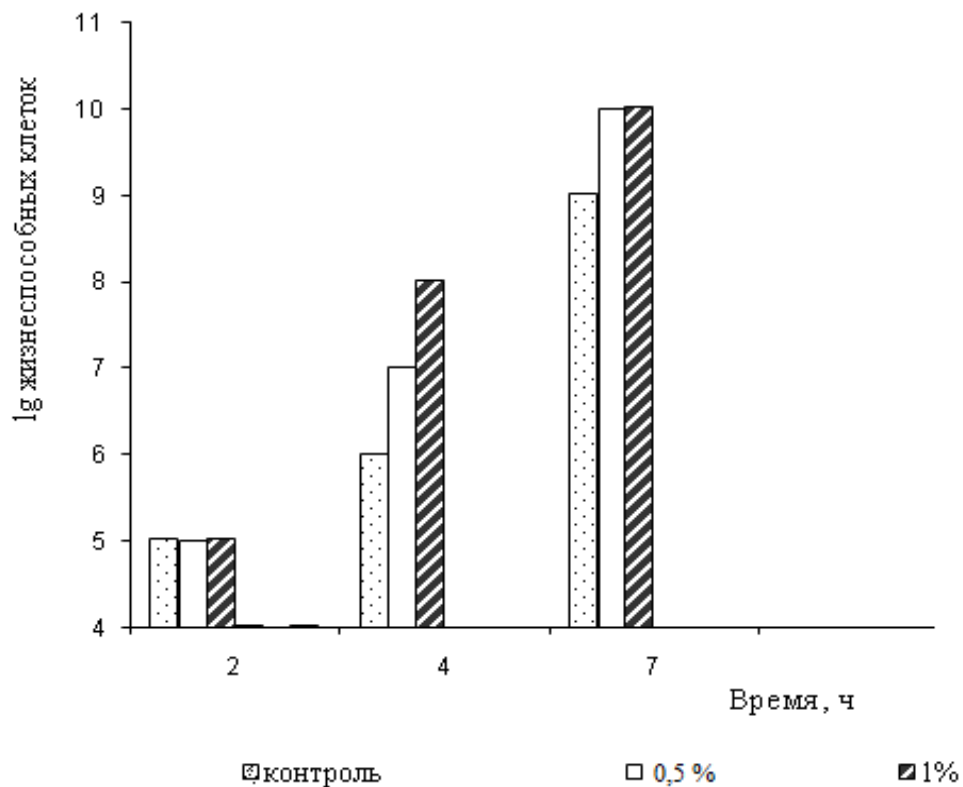


Рис. 2. Влияние различных доз рыжикового масла на рост комбинированной закваски

В результате проведенных исследований установлено, что рыжиковое масло стимулирует рост комбинированной закваски, соотношение культур *L. helveticus* и *P. Shermanii* в которой 40:60.

Далее определяли влияние вносимой добавки на сенсорные показатели готового продукта. Результаты представлены на рис. 3 и 4.

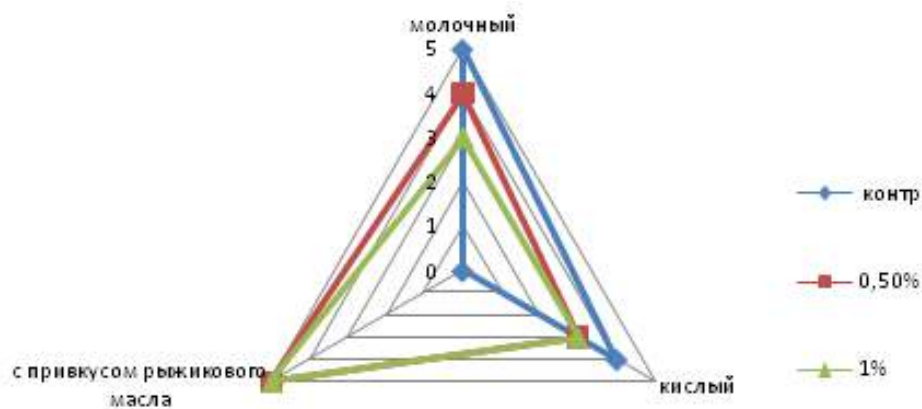


Рис. 3. Профили вкуса и запаха образцов *L. helveticus* и *P. shermanii* в соотношении 0,4:0,6



Рис. 4. Профили внешнего вида, консистенции образцов *L. helveticus* с *P. shermanii* в соотношением 0,4:0,6

Результат сенсорного анализа с использованием профильного метода показывает, что образцы с рыжиковым маслом по показателям внешний вид и консистенция имеют более высокие потребительские характеристики, но по вкусу и запаху несколько уступают контролю, это объясняется специфическими особенностями вносимой добавки.

Таким образом, анализ полученных данных показал, что наиболее оптимальной дозой внесения рыжикового масла является 1 %. Так как данная доза обеспечивает значительный рост микроорганизмов, повышение их биохимической активности, также при выборе дозы учитывались органолептические показатели.

### Список информационных источников

1. ТР ТС 033-2013 «О безопасности молока и молочных продуктов».
2. ГОСТ 32923-2014 «Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами. Технические условия».
3. ГОСТ 10113-62 «Масло рыжиковое (техническое). Технические условия».
4. Шендеров, Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание. – М.: Грант. – Т. 3., 2001. – 287 с.
5. Цыбикова А.Х. Разработка технологии бактериальных концентратов с холестеринметаболизирующей активностью/ Защищена 2012 г. – Улан-Удэ- 3с.
6. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.slavianin.ru/nasledie/pitanie/ryzhikovoje-maslo.html> 01.10.2016.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

*Д.Е. Гусаров, Н.Е. Кузнецов*

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета, г. Юрга*

*Научный руководитель: Павлов Н.В., специалист по учебно-методической  
работе 2 категории*

При изготовлении любых изделий сегодня применяют самые разнообразные материалы. Детали, выполняемые из этих материалов, необходимо соединять между собой. Наиболее распространенным методом получения неразъемных соединений является сварка.

В процессе сварки нагревается не весь объем материала, а только его часть, что приводит к образованию значительных внутренних сил и, следовательно, к внутренним разрывам в материале. Кроме того, в жидком материале интенсивно происходят химические процессы, существенно изменяющие его свойства, что может привести к возникновению дефектов.

Оценить наличие и величину дефекта без разрушения изделия возможно за счет применения методов неразрушающего контроля таких как:

- радиационный метод;
- ультразвуковой метод;
- визуально-измерительный контроль;
- метод цветной дефектоскопии;
- метод керосиновой пробы;
- магнитопорошковая дефектоскопия;
- тепловой метод контроля [1].

Рассмотрим более подробно каждый из этих методов и применение оборудования.

Радиационный метод контроля основан на способности ионизирующего излучения неодинаково проникать через различные материалы и поглощаться в них в зависимости от толщины, рода (плотности) материалов и энергии излучения. Интенсивность проникающего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов – несплошностей (трещин, непроваров), неметаллических включений или пор. На рис. 1 представлен переносной рентгеновский аппарат серии «РПД-150».

Разработаны и выпускаются специальные приборы – дефектоскопы различного назначения и с различными техническими характеристиками. Ультразвуковой дефектоскоп предназначен для генерирования

импульсов ультразвуковых колебаний, приёма отражённых сигналов, преобразования этих сигналов в вид, удобный для наблюдения, а также для измерения координат дефектов и сравнения амплитуд сигналов. На рис. 2 представлен ультразвуковой дефектоскоп Пеленг-115.



*Рис. 1. Переносной рентгеновский аппарат серии «РПД-150»»*



*Рис. 2. Ультразвуковой дефектоскоп Пеленг-115*

Визуально-измерительный контроль сварных швов — это внешний осмотр достаточно крупных сварных конструкций, как невооруженным глазом, так и при помощи различных технических приспособлений для выявления более мелких дефектов, не поддающихся первоначальной визуализации, а также с использованием преобразователей визуальной информации в телеметрическую. Визуальное обследование в поисках теоретических дефектов производят с внешней стороны сварного шва, где при их обнаружении можно выполнить минимальные измерения с помощью оптических приборов и инструментов, заключить акт визуального осмотра.

Цветная дефектоскопия для обнаружения поверхностных и сквозных дефектов, определения их расположения или протяженности (для протяженных дефектов некоторых типов) и их ориентации на поверхности исследуемого объекта. Метод основан на капиллярном проникновении внутрь дефекта, хорошо смачивающего исследуемый материал,

жидкого индикатора, на визуальном изучении поверхности материала и на последующей регистрации индикаторных следов.

Принцип действия метода керосиновой пробы основан на физическом свойстве керосина, капиллярности — способность подниматься по капиллярным ходам, сквозным порам и трещинам.

Магнитопорошковая дефектоскопия основана на притяжении магнитных частиц силами неоднородных магнитных полей, возникающих над дефектами. Метод магнитопорошкового контроля (МК) предназначен для выявления тонких поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности металла дефектов, распространяющихся вглубь изделий.

Тепловой метод контроля основан на измерении, мониторинге и анализе температуры контролируемых объектов. Основным условием применения теплового контроля является наличие в контролируемом объекте тепловых потоков. Процесс передачи тепловой энергии, выделение или поглощение тепла в объекте приводит к тому, что его температура изменяется относительно окружающей среды. Распределение температуры по поверхности объекта является основным параметром в тепловом методе, так как несет информацию об особенностях процесса теплопередачи, режиме работы объекта, его внутренней структуре и наличии скрытых внутренних дефектов. Тепловые потоки в контролируемом объекте могут возникать по различным причинам [2].

Следует отметить, что среди перечисленных методов контроля нет такого, который гарантировал бы выявление всех дефектов сварки. Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и недостатками. Выбор метода контроля обусловлен эксплуатационными требованиями предъявляемыми к рассматриваемой конструкции.

#### **Список информационных источников**

1. Кашубский Н. И., Сельский А. А.. Методы неразрушающего контроля. Красноярск, 2009. – 309 с.
2. Неразрушающий контроль и техническая диагностика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://endt.ru> 01.10.2016

## ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА БЕНЗИНА

*Е.И. Гусева*

*Омский государственный технический университет, г. Омск*

В настоящее время широко распространена экспертиза исследования состава и качества бензина, так как бензин постоянно используется в технике. Если бензин будет плохого качества, то возможен ущерб автомобилю и окружающей среде.

Лабораторная экспертиза бензина проводится как самостоятельный вид исследований или в составе комплекса экспертиз в зависимости от ситуации. Актуальность данной проблемы привела к тому, что появилось большое количество независимых компаний, которые проводят независимую экспертизу.

*Бензин* - продукт переработки нефти, который представляет собой горючую смесь с низкими детонационными характеристиками. Около 50 % бензина производится из сырой нефти: природный бензин, сжиженные нефтяные газы, продукты, которые используются в качестве моторных топлив и т. д. [2]

Для улучшения эксплуатационных свойств бензинов производители повышают их октановое число. Это достигается путем добавления к бензинам некоторых высокооктановых компонентов.

Октановое число – это показатель детонационных свойств моторного топлива. Детонация – характер горения, при котором воспламенение горючей смеси происходит в нескольких точках цилиндра или по всему объему сразу. Октановое число является одной из самых важных характеристик бензина. Если октановое число бензина равно 95, то это означает, что он детонирует как смесь 95 % изооктана и 5 % гептана.[3]

Бензин АИ-92 – это продукт, получаемый путем первичной возгонки нефти и отбором ее определенных фракций путем каталитического риформинга, замедленного коксования и пр. Содержащиеся в составе бензина различные антидетонационные присадки позволяют повысить полноту его сгорания и равномерность распределения детонационной стойкости по фракциям.

АИ-92 применяется в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания, которые работают с наддувом при высокой степени сжатия, а также в инжекторных двигателях. Кроме того, он может использоваться в бытовых целях – как горючий материал, как растворитель жиров при чистке тканей, при производстве парафина.

Исследования бензина АИ-92 проводились в лабораторных условиях с помощью Октанометра ПЭ-7300.



Октанометр ПЭ-7300 предназначен для определения:

- октанового числа исследовательским и моторным методом автомобильных бензинов;
- цетанового числа дизельных топлив.

Принцип действия октанометра основан на сравнении диэлектрических свойств бензинов с компьютерной базой данных, с учётом температурной поправки. С программным обеспечением поставляется специализированная справочная система, регламентирующая порядок нефтепродуктообеспечения. [1]

Для проведения исследования взяли бензин АИ-92 марки компаний «ГазПром», «Топ Лайн», «ЛУКОЙЛ».

Результаты эксперимента занесены в табл. 1.

Таблица 1

*Результаты эксперимента*

	«ГазПром»	«Топ Лайн»	«ЛУКОЙЛ»
Октановое число заявленное	92(>82.9)	92(>82.5)	92(>82.5)
Октановое число, полученное исследовательским методом	80	84	92
Октановое число, полученное моторным методом	75	81	83

Проведя исследования было установлено, что бензин марки «ГазПром» и «Топ Лайн» оказался фальсифицированным и не соответствовал заявленным показателям. Однако в отличие от бензина марки «Топ Лайн», бензин марки «ГазПром» имел нехарактерный желтый оттенок, что свидетельствует о наличии большого количества примесей в бензине.

Также в исследуемых пробах путем поджигания бензина АИ-92 были обнаружены смолы.

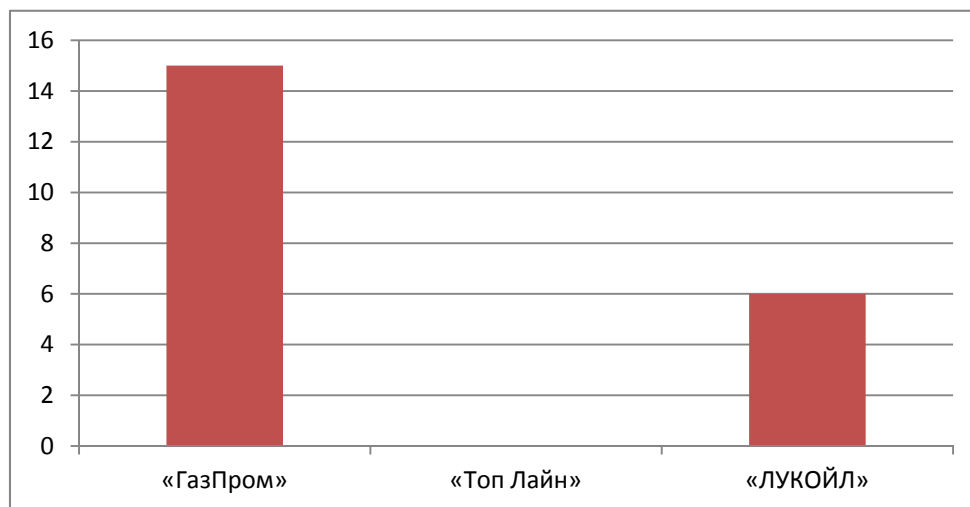
Таблица 2

*Нормативные значения*

Диаметр пятна из фарфоровой чашки мм	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22
Содержание фактических смол, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива	4	7	11	15	20	32	43	54	70	85	102

После исследований были проведены замеры диаметра пятен, с помощью которых определили количество смол в бензине марки «ГазПром», «Топ Лайн» и «ЛУКОЙЛ». Образовавшийся дым от бензина марки «ГазПром» отличался особым выделением насыщенного, густого, черного ды-

ма. Остальные же образцы ничем не выделялись, присутствовал черный дым без особой густоты. Результаты отображены на рис. 1.



*Рис. 1. Результаты эксперимента*

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что «ЛУКОЙЛ» держит марку и бензин действительно хорошего качества. Но для лучшего исследования бензина, необходимо проводить больше экспериментов.

#### **Список информационных источников**

1. ГОСТ 2177-99 Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава.
2. Гуреев А. А., Азеев В.С. Автомобильные бензины. Свойства и применение. – М.: Нефть и газ, 2012. – 444 с.
3. Анисимов И. Г., Бадыштова К.М., Бнатов С.А. и др Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник. – М.:Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.
4. Сафонов А.С., Ушаков А.И., Чечкенов И.В. Автомобильные топлива : химмотология. Эксплуатац. свойства. Ассортимент. – Санкт-Петербург : НПИКЦ, 2002. – 263 с.

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ЯМР

*А.В. Ершов, М.Я. Вернета*

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

*Научный руководитель: Агеев В.В., доцент, к.т.н. кафедры физики методов  
контроля и диагностики ТИУ*

ЯМР сигнал – это тонкий сигнал. Он позволяют отслеживать изменения в среде на наноразмерах и размерах элементарной ячейки, потому что он работает с отдельными ядрами и их магнитными моментами. Но чтобы проводить такие измерения, нужны большие установки, но у нас нет возможности их использовать, так как они дорогостоящие и нужно для них отводить целые лаборатории. А лабораторное оборудование которое нам дается для практик делается с низким качеством, а самое главное в них отсутствует цифровая обработка данных.

Поэтому для учебного процесса необходимо разработать целый комплекс, куда бы входило надёжное измерение и цифровые методы обработки измерения. Поэтому мы решили модернизировать нашу учебную лабораторную установку ЯМР. Написав программу для автоматического расчета параметров резонанса, которые заключаются в амплитуде и полуширине. Для согласования лабораторной установки ЯМР с персональным компьютером мы используем цифровой осциллограф фирмы Tektronix. Из-за того что в нем есть скоростное АЦП с частотой обработки 100МГц.

Целью данной работы является усовершенствование лабораторной установки ЯМР. Данная установка (рис.1), из-за не стабильности работы генератора частот, обладает плохим плавающим сигналом, в котором присутствует большое количество шумов, из-за которых затруднялось делать какие либо измерения. Более того данной установкой не предусматривалась цифровая обработка сигнала нужно измерять все параметры вручную. Снимать сигнал, фиксируя его фотоаппаратом, но это не просто поймать пик по которому можно проводить измерения из-за этого делалось множество фотографий. После этого всего еще приходилось линейкой мерить. Из-за этих трудностей мы тратим очень много времени.

После проделанной работы написав программу в среде LabVIEW. Переведен аналоговый сигнал лабораторной установки ЯМР в цифрой, зафиксирован стабильный сигнал и проанализирован пик.

В результате модернизации лабораторной установки написана программа (рис. 2, 3) в которой реализованы поставленные задачи.

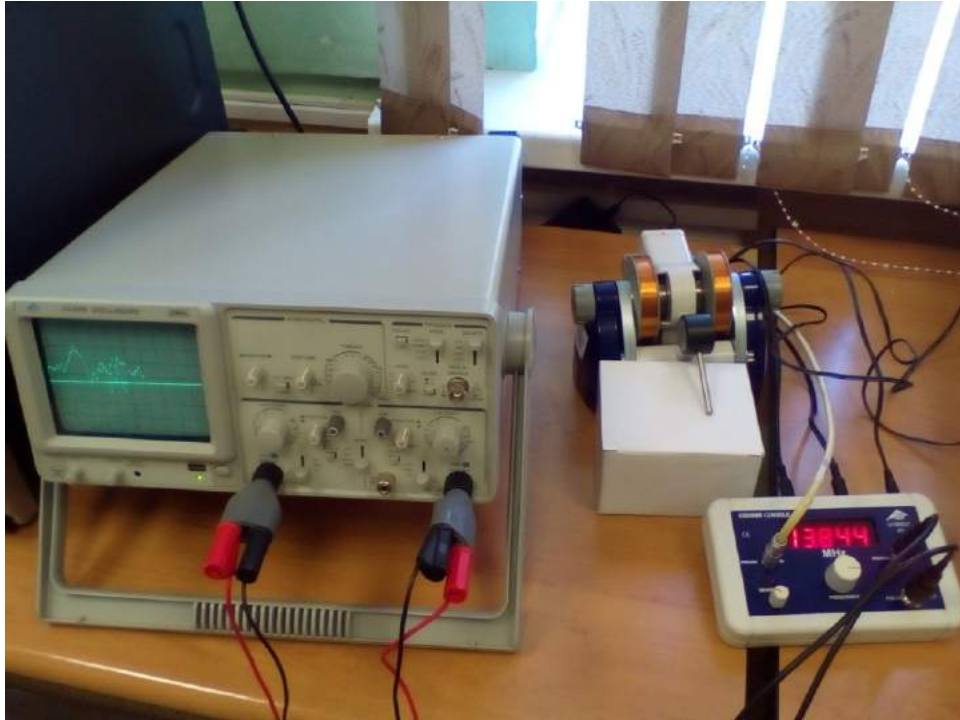


Рис. 1. Лабораторная установка для измерений ЯМР

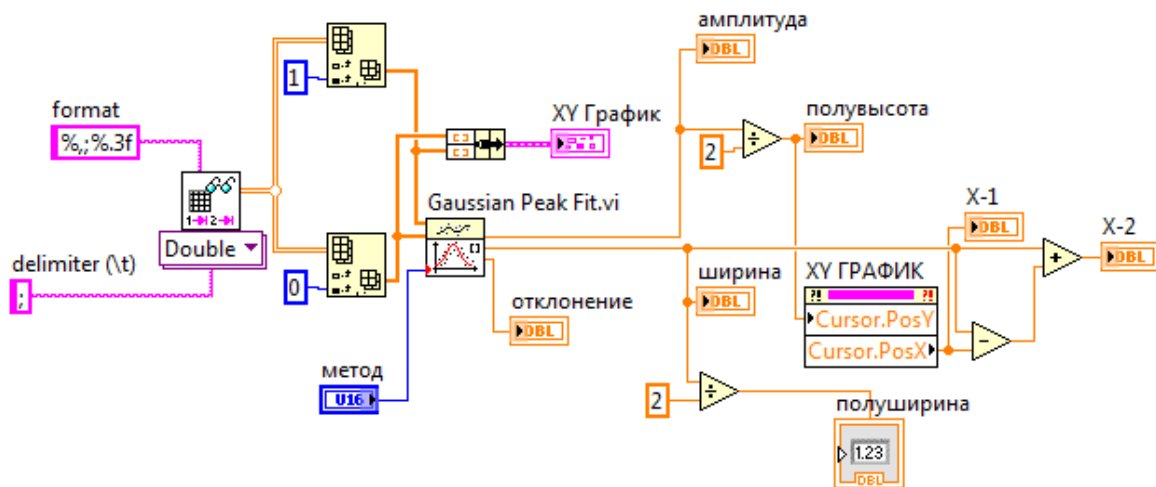
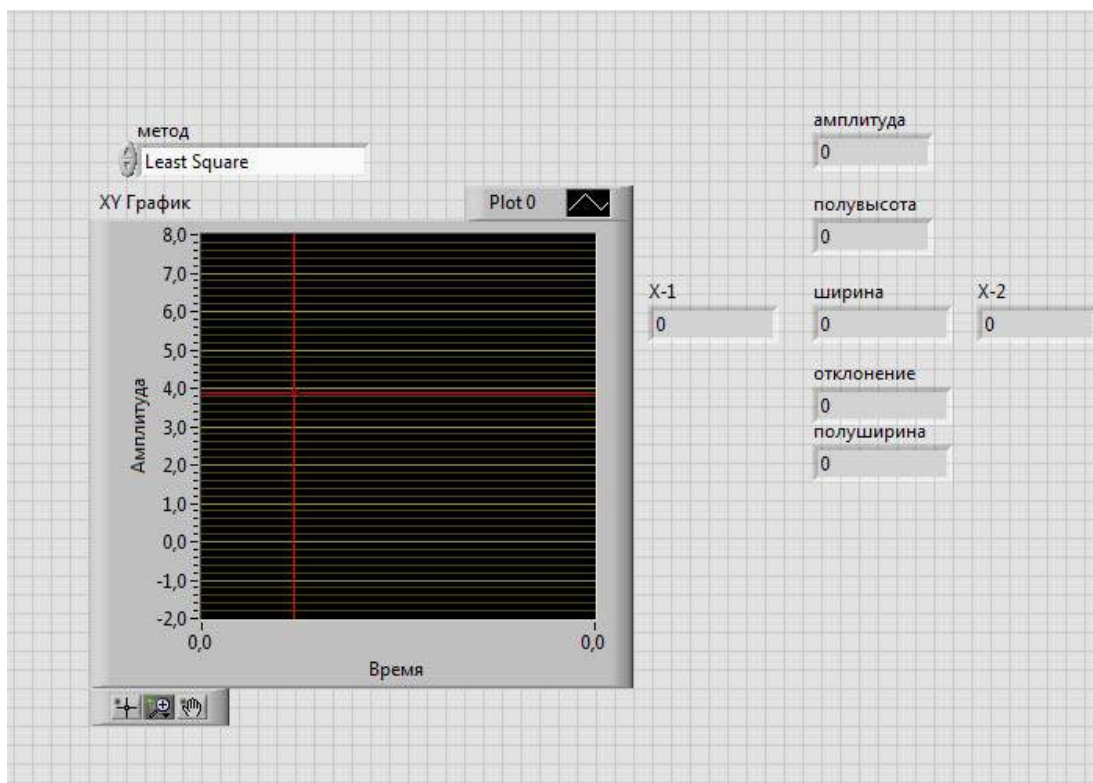


Рис. 2. Блок диаграмма программы

Во-первых, получен из аналогового не стабильного сигнала установки ЯМР цифровой стабильный сигнал, который записывается на компьютер для дальнейшей его обработки.

Во-вторых, получилась цифровая обработка пика ЯМР сигнала которая выражается в амплитуде и полуширине.

В-третьих, создан приборный комплекс, который, позволяет выполнять лабораторную работу, но и главное на этом лабораторном комплексе можно вести исследовательские измерения.



*Рис. 3. Лицевая панель программы*

### **Список информационных источников**

1. Суранов А.Я. LabVIEW Справочник по функциям. Москва, 2005. – 514 с.
2. Хеберлен У., Меринг М. ЯМР высокого разрешения в твердых телах. – М.: Мир, 1980. – 504 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ  
ZETLAB ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ КАФЕДРЫ  
«ПРИБОРОСТРОЕНИЯ» КАРГТУ**

*Т.С. Жантуганова*

*Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда*

Программные и аппаратные средства ZETLab содержат все компоненты современных измерительно-управляющих комплексов: системы сбора данных, устройства ввода и вывода аналоговых и цифровых сигналов, распределённые измерительно-управляющие контроллеры на шинах PCI, USB, Ethernet и т.д. Используемая в ZETLab концепция виртуальных приборов позволяет значительно расширить функциональность создаваемых испытательных и измерительных систем при одновременном сокращении трудозатрат на их разработку. Среда разработки пользовательских приложений ZETLab-Studio представляет собой набор встраиваемых компонент для быстрой и эффективной разработки измерительных, контрольных и управляющих программ. Она является удобным инструментом для создания высокопроизводительных систем обработки сигналов в реальном масштабе времени.

С помощью ZETLab обычный компьютер, оснащённый дополнительными устройствами ввода информации может стать лабораторным измерительным комплексом. ZETLab-Studio – интегрированная среда разработчика для создания программ сбора, обработки данных и управления периферийными устройствами. Программирование осуществляется на любом объектно-ориентированном языке (VisualBasic, Visual C++, Delphi) с использованием библиотечных элементов и готовых программ ZETLab. Сочетание широко используемого языка программирования и большого количества разнообразных компонент позволяет значительно сократить время разработки сложных систем при сохранении высокой скорости выполнения программ. Библиотеки современных алгоритмов обработки и анализа данных превращают средства ZETLab в универсальный инструмент создания интегрированных систем на базе персональных компьютеров.

В комплект ZETLab входит более 100 различных готовых программ, компонентов и библиотек, которые пользователи могут интегрировать в свои приложения. В основу пакета программ ZETLab заложен принцип одновременной работы многих программ и максимальное ис-

пользование вычислительных мощностей программных и аппаратных средств. В пакете ZETLab пользователю надо всего лишь подобрать набор необходимых инструментов и связать их в один проект. Таким образом, комплект ZETLab позволяет без потери производительности избежать сложностей обычного «текстового» и «графического» программирования.

Ввод и вывод аналоговых и цифровых сигналов производится через сервер данных. Он спроектирован в соответствии с требованиями общепромышленного стандарта для SCADA-систем – OPC. Сервер осуществляет подключение к драйверам устройств, синхронизацию потоков данных от различных устройств ввода или вывода, обеспечивает одновременное подключение нескольких различных типов устройств.

Пользовательская программа подключается к серверу данных при помощи одной команды. Одновременно к серверу может подключаться несколько пользовательских программ. Данные от АЦП поступают в программу пользователя в формате с плавающей запятой в заданных единицах измерения физических величин. Единицы измерения задаются пользователем. Программа пользователя может создавать виртуальные каналы, которые существуют наравне с физическими каналами и обрабатываются другими программами так же, как и физические каналы.

Для передачи результатов измерений и управляющих команд из одной программы в другую служит модуль управления и автоматизации. Пользовательская программа тоже может подключаться к этому модулю. Использование модуля подразумевает связь между программами типа «ведущий» – «ведомый».

Для упрощения работы с такими данными используется библиотека динамически компокуемых модулей (DLL) обработки сигналов, которая включает в себя программы работы с массивами данных и оптимизирована для процессоров Intel Pentium IV с системой команд MMX и SSE.

Результаты обработки могут быть представлены в графическом виде. Всё, что вам надо сделать, – это поместить на свою форму графический элемент ActiveX в нужном месте и придать ему необходимые свойства: цвета сетки, графиков, надписей, типы линий, количество отображаемых графиков, количество точек графика. Свойства компонентов можно изменять как на этапе проектирования программы, так и в ходе выполнения программы. Затем, в процессе работы программы, полученные результаты в виде массива необходимо передавать в графический ActiveX-элемент. Это делается одной командой. Графический элемент сам прорисовывает все графики без мерцания и «снега» на экране. В графических элементах реализовано масштабирование графиков

по всем осям, передвижение курсора и отображение положения курсора. Для этого не надо писать ни единой строчки кода, т.к. по требованию пользователя программа может считывать положение курсора на графике и выполнять другие действия.

В лаборатории «Приборостроение» как средства изучения датчиков вибрации на базе стенда ИВ5. Следующая задача будет разработка лабораторной базы для изучения датчиков ускорения для различных модификации.



## ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Т.М. Жмурова*

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск*

*Научный руководитель: Тимофеева С.С., д.т.н., профессор, зав. каф.  
промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности*

В настоящее время все большее внимание уделяется созданию и внедрению технологий биоремедиации – комплекса методов очистки вод, грунтов и атмосферы с использованием метаболического потенциала биологических объектов – растений, грибов, насекомых, червей и других организмов. Данная технология начинает применяться и в горном деле, особенно широкое распространение получают методы фиторемедиации.

Фиторемедиация представляет собой энергосберегающий эстетичный способ восстановления территории с низким или средним уровнем загрязнения. Растения могут аккумулировать тяжелые металлы, накапливая их в листьях из загрязненных почв, сорбировать на поверхности листьев мелкодисперсную пыль, выделяемую при технологических процессах, укреплять поверхность отработанных карьеров, предотвращать эрозию почв, снижать уровень шума и т. д. Фиторемедиация уже успешно используется на многих промышленных площадках, особенно зарубежом.

Целью настоящей работы явилась оценка возможностей и перспектив использования технологии фиторемедиации в условиях Восточной Сибири применительно к условиям добычи гипсового камня на Заларинском месторождении в Иркутской области.

Объектом исследования являлся участок «Северный», на котором нами проведено исследование интенсивности пылеобразования на разных технологических процессах и изучены возможности применения технологии фиторемедиации для нейтрализации негативного воздействия предприятия на окружающую среду.

Содержание пыли в воздухе оценивали весовым методом путем экспозиции стекол в течение суток при зонах работы технологического оборудования и за территорией промышленной площадки. Экспериментально установлено, что максимальное пылеобразование фиксируется при дроблении, погрузке и транспортировании массы (табл. 1).

За территорией участка содержание пыли в воздухе колеблется в диапазоне от 15 до 30 мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

*Интенсивность пылеобразования в технологических процессах добычи гипсового камня на участке «Северный» Заларинского месторождения*

Технологический процесс	Интенсивность пылеобразования, г/с	Масса выбрасываемой пыли, т/год
Буровзрывные работы	0,0002	0,0056293
Дробление	0,062	1,95718
Погрузочные работы	0,056	1,74589
Транспортирование	0,031	0,97154
Территория за пределами участка	0,35	11,07318

Нами на основе анализа литературных данных по составу деревьев и кустарников, произрастающих в климатических условиях исследуемого региона [1,3], проведен отбор насаждений, перспективных для нейтрализации пылевой нагрузки, создаваемой участком «Северный».

Снижение запыленности воздуха зелеными насаждениями происходит вследствие замедления скорости движения загрязненного потока в зеленом массиве и выпадения пыли на поверхность листьев, хвои, веток и стволов. Под деревьями в результате разницы температур возникают нисходящие потоки воздуха, способствующие оседанию пыли. Осевшую пыль смывает дождь или струи воды во время полива зеленых насаждений.

В качестве перспективного фиторемедиатора на данной территории можно рекомендовать тополь черный – дерево первой величины, достигающее 30–35 м высоты и 1–2 м в диаметре ствола. Тополь чёрный размножается семенами, пневой порослью и корневыми отпрысками.

За вегетационный период растущий тополь черный осаждаст 44 килограмма пыли, тополь белый – 53 килограмма; ива белая и клен ясенелистный соответственно 34 , 30 килограммов. Один гектар елового леса за год осаждаст 32 тонны пыли [3].

Тополь чёрный относится к числу наиболее распространённых видов древесных растений, применяемых в озеленении населенных пунктов и рекультивации. Это обусловлено тем, что он весьма зимостоек, быстро растёт, экологически пластичен, проявляет высокие пыле-, дымо- и газоустойчивость. Одно дерево выделяет столько кислорода, сколько 7 елей, 4 сосны или 3 липы; за вегетативный сезон один тополь освобождает атмосферу от 20–30 кг пыли или сажи [2].

В качестве фиторемедиатора на данной территории можно также высаживать сирень обыкновенную.

Сирень – род растений семейства маслиновых. Это листопадные, реже вечнозеленые кустарники или небольшие деревья, обычно с цель-

ными листьями Данный кустарник очень устойчив к засухе, морозам, промышленным газом. Сирень выделяет эфирные масла, которые обладают бактерицидными свойствами. Молодые листья сирени задерживают в три раза больше пыли, чем листья, например, липы. Рекордсменами по пылеулавливанию являются амурская, волосистая и японская сирени, к сожалению, они в данном регионе не интродуцированы.

В качестве дополнительных фиторемедиантов нами оценены возможности использования гидропосева трав, способных произрастать на песчаных почвах, обедненных питательными веществами. Наиболее неприхотливыми и перспективными могут оказаться красный клевер и волоснец песчаный.

Таким образом, исследование интенсивности пылеобразования в на участке «Северный» Заларинского месторождения гипсового камня и оценка перспектив внедрения технологии фиторемедиации позволяют надеяться на реализацию данной перспективной технологии. Тем более, что в настоящее время проведены первые экспериментальные посадки сирени, клевера красного.

#### **Список информационных источников**

1. Электронный справочник растений, цветов, деревьев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.original-flowers.ru>. 17.08.16.
2. Бакулин В.Т. Использование тополя в озеленении промышленных городов Сибири: краткий анализ проблемы // Сибирский экологический журнал, 2005. – Т. 12. – № 4. – С. 563–571.
3. Бояркин В. М., Бояркин И. В. География Иркутской области: Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство «Сарма», 2011. – 182 с.
4. Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. – Ижевск: Удмуртский университет, 2010. – 160 с.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОВЕСНОГО РАДИУСА БЕТАТРОНА ЧЕРЕЗ РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

*И.А. Затонов*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Одной из наиболее важных характеристик магнитного поля бетатрона является радиус «равновесной орбиты». Равновесная орбита определяет то расстояние от центра бетатрона, к которому вращающиеся электроны будут стремиться в процессе разгона.

Существование орбиты постоянного радиуса впервые предположил и рассчитал Видерое [1]. Проведенные им расчёты показали, что распределение линий магнитного потока в зазоре между полюсами должно обеспечить в процессе ускорения соблюдение условия «отношения 2:1», или, так называемого, бетатронного условия:

$$B_{\text{cp}} = 2 \cdot B_0, \quad (1)$$

где  $B_0$  – плотность магнитного потока на равновесной орбите  $r_0$ ;  $B_{\text{cp}}$  – средняя плотность магнитного поля в круге равновесной орбиты.

Наиболее полную информацию о фокусирующих свойствах магнитного поля дает его потенциальная функция [2]. Поверхность, которая описывается потенциальной функцией называется потенциальной ямой. По картине потенциальной ямы можно судить о расположении равновесного радиуса. Минимум потенциальной ямы соответствует равновесному радиусу. Потенциальная функция на радиусе рассчитывается следующим образом:

$$V_{\mu} = \frac{eA^2}{2mc^2} = \frac{e}{2mc^2} \left( \frac{rB}{2} \right)^2, \quad (2)$$

где  $V_{\mu}$  – потенциальная функция;  $e$  – заряд электрона;  $A$  – векторный магнитный потенциал;  $m$  – масса электрона;  $c$  – скорость света;  $B$  – индукция на радиусе  $r$ .

Контуром на рисунке ниже (рис. 1) представлена область, значения потенциальной функции в которой важно для нас.

Для расчета индукции использовалась программа конечно-элементного анализа Elcut. На основе проведенных измерений была рассчитана потенциальная функция для 11 значений координаты  $z$  на равных интервалах.

Таким образом была получена картина представленная на рис. 2. Чем больше замкнутых контуров помещается в баллон трубки, тем

лучше сфокусировано магнитное поле бетатрона. Расположение минимума потенциальной ямы говорит о том, что равновесный радиус находится на расстоянии 90 мм от центра бетатрона.

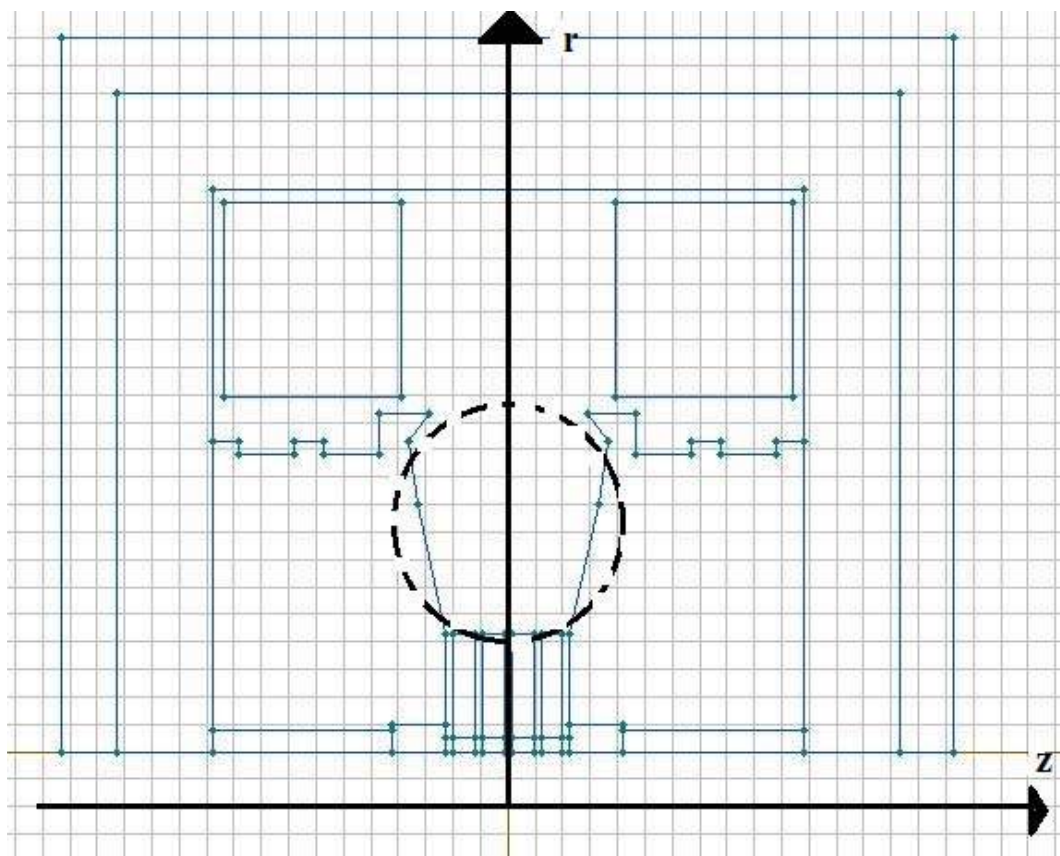


Рис. 1. Геометрическая модель бетатрона в осесимметричном классе модели с нанесенной областью расчета потенциальной функции

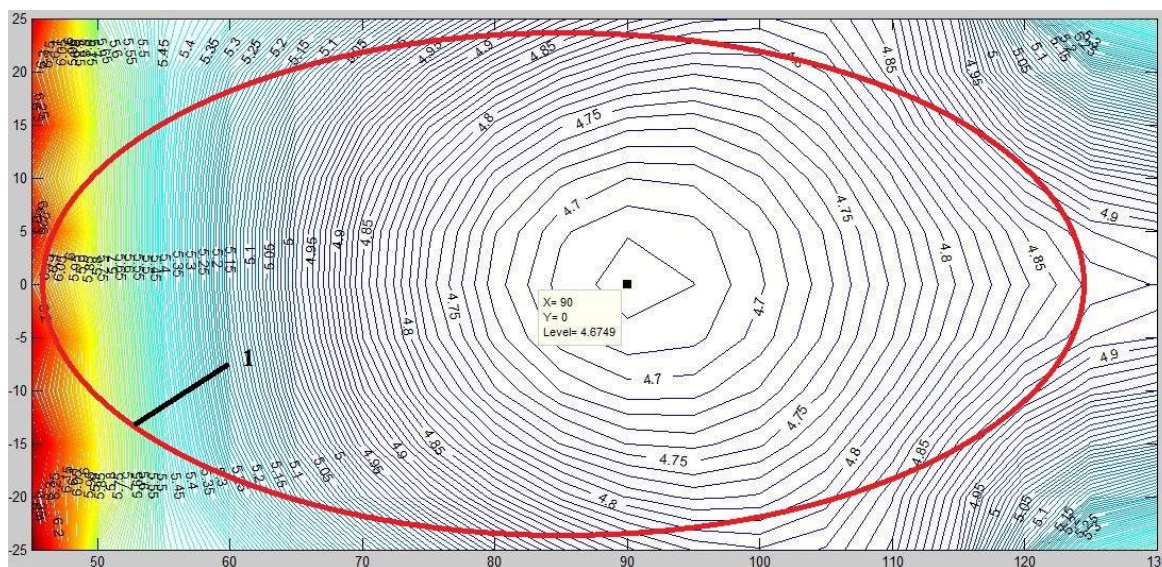


Рис. 2. Потенциальная яма, где 1 – баллон трубки

Таким образом, по величине и форме потенциальной ямы можно рассчитывать не только формы полюсов, создающих искомое поле, но и определять такие важные характеристики магнитного поля бетатрона, как равновесный радиус вращения электронов

#### **Список информационных источников**

1. Воробьев А.А. Ускорители заряженных частиц. – М.: Госэнергоиздат, 1949. – 214 с.
2. Гришин К.С. К методике проектирования полюсов простейших бетатронов // Известия Томского политехнического института. – 1957. – Т.87. – С. 95–100.



## НАНОСЕНСОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ

*М.В. Зубрилова*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Авдеева Д.К. д.т.н., профессор*

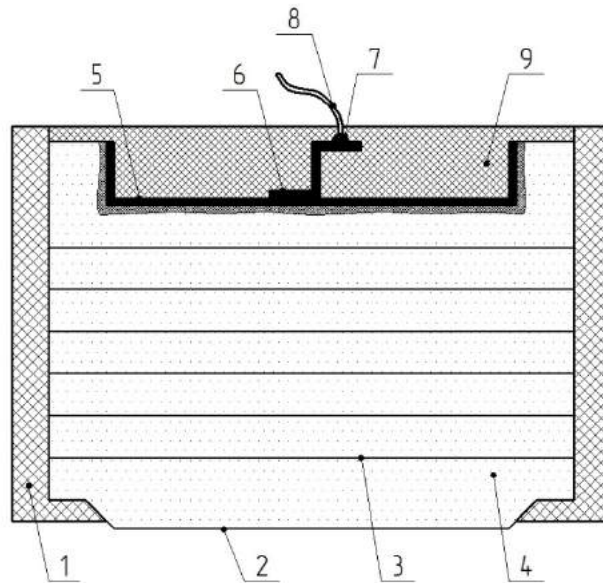
Электрод – (электро греч. hodos путь, направление) в медицине конструктивный элемент электронного или электротехнического диагностического прибора, физиотерапевтического или хирургического аппарата (установки), служащий для соединения его электрической цепи с определенным участком организма человека [1].

Наносенсоры – это медицинские электроды, но они в отличие от существующих в мире (ученым ТПУ удалось создать единственные в мире) обладают помехоустойчивостью и высоким разрешением. Они аккумулируют сигнал и ослабляют помехи [2].



*Рис. 1. Наносенсоры*

Различают следующие электрофизиологические исследования (исследования с помощью электродов): электрокардиография – исследование электрической активности сердца; электроэнцефалография – исследование электрической активности головного мозга; электромиография – исследование электрической активности мышц и др. Важным достоинством биоэлектрических методов исследований является то, что вся процедура безболезненна и безвредна, даже при длительном применении [3].



*Рис. 2. Конструкция наносенсоров: 1 – диэлектрический корпус; 2 – контактный элемент; 3 диэлектрические пластины; 4 – наночастицы серебра; 5 – слой серебра; 6 – токоотводящий серебряный элемент; 7 – спай; 8 – проводник; 9 – герметик*

С помощью двух электродов снимают электрофизиологические параметры биполярным и монополярным способами. При биполярном отведении электроды измеряют разность потенциалов между двумя точками, располагаясь в активной зоне. При монополярном отведении один электрод располагается в нулевой зоне (зона с пренебрежимо малой биологической активностью), а другой – сигнальный – располагается в активной зоне. При этом измеряется абсолютная величина биопотенциала.

Выделяется 4 группы электродов по особенностям применения:

- для однократного использования;
- для постоянного наблюдения биоэлектрических сигналов (контроль состояния человека в процессе трудовой деятельности);
- для динамических наблюдений (в спортивной медицине и палатах реабилитации);
- для применения в условиях экстренной помощи[4].

По типу контакта с биообъектом различают подкожные (игольчатые) и накожные (поверхностные) электроды. Среди поверхностных электродов в зависимости от характера сопротивления кожно-электродного контакта можно выделить следующие группы: емкостные, металлические, резистивно-емкостные и резистивные. В зависимости от необходимости использования физиологического раствора или пасты электроды делят на влажные и сухие.



Электроды делятся по склонности к поляризации на слабополяризующиеся, неполяризующиеся и поляризующиеся. Данные электроды также классифицируют по материалу активного слоя, способу крепления, форме и другим признакам. Наиболее полная классификация биомедицинских измерительных электродов приведена в ГОСТ 24878–81 (СТ СЭВ 2483–80) «Электроды для съёма биоэлектрических потенциалов».

Ряд требований предъявляется к материалу и конструкции электродов, определяемых свойствами биообъекта и специфическими условиями физиологического эксперимента:

- 1) биологическая инертность (нетоксичность);
- 2) возможность надёжного и удобного крепления;
- 3) хорошая электропроводность;
- 4) отсутствие поляризации, высокая помехоустойчивость к специфическим помехам;
- 5) физико-химическая инертность;
- 6) малые габариты и вес;
- 7) высокая прочность;
- 8) простота и долговечность;
- 9) лёгкость и пластичность;
- 10) стабильность измерений [4].

Помимо ранее перечисленных достоинств биоэлектрических электродов, также существует ряд недостатков, основными из которых являются помехи при снятии данных, а так же сравнительно не большая чувствительность. Решение данной проблемы является актуальной задачей, для этого и были созданы наносенсоры.

### **Список информационных источников**

1. Медицинские термины – электрод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.вокабула.рф> 01.10.2016.
2. Служба новостей ТПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://news.tpu.ru/news/2014/07/07/21896/> 01.10.2016.
3. Методы электрофизиологических исследований. Съём биопотенциалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://otherreferats.allbest.ru/medicine/00098876\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/medicine/00098876_0.html) 01.10.2016.
4. Лекция 3. Регистрация электрофизиологической информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [moodle.dstu.edu.ru/mod/resource/view.php?id=30612](http://moodle.dstu.edu.ru/mod/resource/view.php?id=30612) 01.10.2016.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФРОНТА ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА С ПРОТИВОПОЖАРНЫМИ РАЗРЫВАМИ В СОПРЯЖЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ

*М.В. Иванова*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Перминов В.А, д.т.н, профессор кафедры экологии  
и безопасности жизнедеятельности*

В России, а особенно в Сибири лес играет важную роль, влияя на многие сферы жизни. Ежегодно по стране возникают более 18 тыс. пожаров, причем большая часть (80 %) – по вине человека [1]. При этом верховые пожары являются наиболее опасными из-за большой скорости (до 50000 м/ч при беглом пожаре). При пожарах наносится ущерб инфраструктуре, лесным угодьям, животному и растительному миру, возможны человеческие жертвы. Актуальность проблемы лесных пожаров несомненна.

Одним из способов решения данной проблемы является математическое моделирование пожара, то есть, создание математических моделей. Подобные модели используются для составления прогнозов поведения реальных лесных пожаров, для разработки мер по предупреждению и устранению пожаров в случае их возникновения. Достоинствами такого метода является относительная дешевизна, отсутствие влияния на окружающую среду, возможность работы с различными параметрами. Недостатки же заключаются в необходимости либо значительно упростить задачи, либо использовать огромные вычислительные мощности.

Объектом исследования являются лесные пожары. Предмет исследования – математическое моделирование возникновения и распространения верхового лесного пожара при наличии и в отсутствии разрывов в сопряженной постановке.

## **Постановка задачи**

Математическая постановка задачи получена на основе общей математической модели пожаров [3].

Пусть очаг зажигания имеет конечные размеры, причем начало системы координат  $X, Y, Z$  связано с центром очага. Ось  $OZ$  направлена вертикально вверх, а оси  $OX$  и  $OY$  – параллельно земной поверхности. Ось  $OX$  направлена параллельно направлению ветра (рис. 1).

Основные допущения, принятые при выводе системы уравнений начальных и граничных условий.

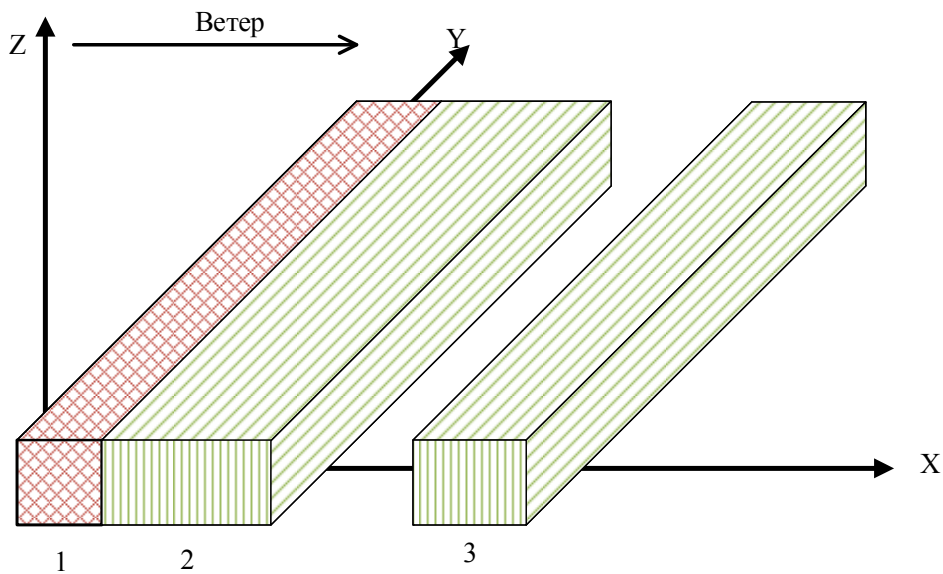


Рис. 1. Система координат с очагом зажигания в центре:  
1 – очаг зажигания; 2 и 3 – лесной массив

Ветер направлен вдоль оси  $Ox$ , течение носит развитый турбулентный характер, и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным; полог леса предполагается недеформируемой пористо-дисперсной средой; среда в пологе леса считается двухтемпературной, т. к. различаются температура газовой и конденсированной фазы; среда находится в локальном термодинамическом равновесии; рассматривается так называемый продуваемый лесной массив, когда объемной долей конденсированной фазы лесных горючих материалов (ЛГМ), состоящей из сухого органического вещества, воды в жидкокапельном состоянии и золы можно пренебречь по сравнению с объемной долей газовой фазы, включающей в себя компоненты воздуха и газообразные продукты пиролиза и горения; плотность газовой фазы не зависит от давления, т. к. скорость течения мала по сравнению со скоростью звука; для описания процесса переноса энергии излучением используется диффузионное приближение.

В области высоты  $h$ , расположенной выше уровня шероховатости  $Z_0$  и ниже уровня верхней границы полога леса в плоскости  $XZ$ , имеем уравнения, выражающие законы сохранения для многофазной многокомпонентной сплошной реагирующей среды. Для приземного слоя атмосферы при  $z \geq h$  система уравнений и начальные и граничные условия взяты из [3]. В целом, указанная система уравнений является обобщением известной системы уравнений Рейнольдса для турбулентных течений однофазной инертной жидкости и в то же время представляет собой

частный случай математической модели лесных пожаров, предложенной в [3].

Взаимодействие процессов горения в нижних и верхних ярусах леса в данной модели учитывается через граничные условия

### **Методика решения и результаты**

Для численного интегрирования исходного системы уравнений используется метод контрольного объема. Расчетную область разбиваем на некоторое число непересекающихся контрольных объемов. Затем исходную систему уравнений интегрируем по каждому контрольному объему. В результате получается система алгебраических уравнений, которая решалась с помощью метода SIP [3].

Тестовые проверки программы расчета осуществлялись путем сравнения с аналитическими решениями, а также с известными численными решениями задач теории горения. Кроме того, для оценки точности используемых разностных схем и проверки правильности работы программы в целом использовался метод априори задаваемых аналитических решений, состоящий в том, что в используемые уравнения подставлялись аналитические выражения искомых функций, вычислялась неувязка уравнений, которая затем трактовалась как фиктивный источник в каждом уравнении. Затем значения функций восстанавливались. Точность восстановления этих функций составляла не менее 0,5 %. Устойчивость и точность полученных решений проверялась также уменьшением шагов по времени и пространству. В серийных расчетах использовался алгоритм автоматического выбора шага по времени.

Критический разрыв определялся при помощи программы wind2, для визуализации использовалась программа MATLAB. Проводились расчеты со следующими параметрами: скорость ветра: 3–7 м/с, влагосодержание: 0.2–0,8, запас ЛГМ: 0.5.

В результате расчетов получены значения скорости распространения пожара, а также поля температур, концентраций кислорода и летучих продуктов пиролиза.

На рис. 2 изображена зависимость размеров критического разрыва от скорости ветра. С увеличением скорости ветра пропорционально увеличиваются размеры противопожарного разрыва. Также с увеличением влагосодержания уменьшается горимость леса, соответственно, уменьшается необходимый разрыв. При невысокой скорости ветра (3–4 м/с) и высокой влажности (80 %) горение не происходит.

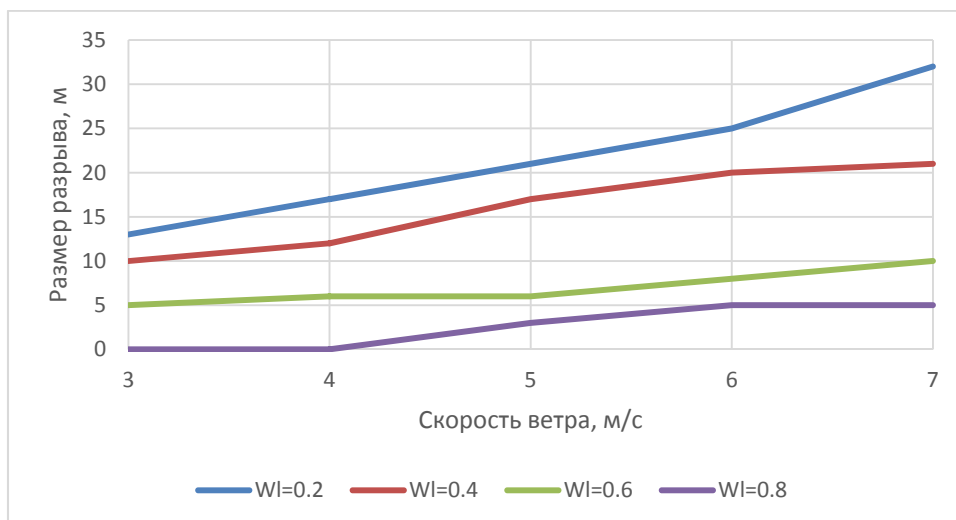


Рис. 2. Зависимость величины разрыва от скорости ветра

### Вывод

В данной работе было исследовано влияние скорости ветра на скорость распространения верховых лесных пожаров и возможность преодоления противопожарного разрыва. Была изучена программа математического моделирования лесных пожаров «wind2», с помощью данной программы получены данные, а на основе этих данных с помощью программы «MATLAB» были построены графики распространения лесных пожаров.

### Список информационных источников

1. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.rosleshoz.gov.ru/forest\\_fires/info/644](http://www.rosleshoz.gov.ru/forest_fires/info/644). 05.05.2016 г
2. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с.
3. Гришин А.М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф // Вестник Томского Государственного университета. Математика и механика. –2008. –№2. –С.105–113.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.70.mchs.gov.ru/pressroom/news/item/687576/> 05.05.2016

# УПРАВЛЕНИЕ РАЗВЁРТКОЙ СПЕКТРА ДИФРАКЦИОННОГО МОНОХРОМАТОРА С ПОМОЩЬЮ ПРЕЦИЗИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

*В.С. Игнатьев*

*Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда  
Научный руководитель: Муравлёв В.К., к.ф.-м.н., ст. преподаватель кафедры  
измерительной техники и приборостроения КарГТУ*

В настоящий момент монохроматоры используются в составе многих приборов и комплексов во многих областях науки для организации спектрофотометрического определения состава и примесей, исследования спектра оптического излучения, и как источники монохроматического излучения в широком спектральном диапазоне.

Как правило, оптическая схема монохроматора а включает в себя входную щель, коллиматорный объектив, дифракционную решетку, фокусирующий объектив и выходную щель, которая выделяет излучение, принадлежащее узкому интервалу длин волн. В монохроматорах всегда имеется возможность сканирования спектра путём поворота дифракционной решетки вручную либо с помощью специального механизма.

Во многих монохроматорах отечественного производства в качестве привода механизма дифракционной решётки применяются шаговые двигатели типа ДШИ, ДРШ и прочие. Для обеспечения линейного поворота решётки применяют червячную передачу с редуктором оборотов шагового двигателя. Как пример на рис. 1 приведена схема узла редуктора от монохроматора ЛОМО МДР-23.

Схема, показанная на рис. 1, обеспечивает поворот дифракционной решётки при сканировании спектра и отсчёт длины волны излучения, попадающего на выходную щель. Развёртка спектра осуществляется автоматически от шагового двигателя. Поворот решётки производится синусным механизмом, состоящим из винта 2, гайки 3 и рычага 4, ось вращения которого совмещена с плоскостью дифракционной решётки.

Показания цифрового счётчика 15 соответствуют длинам волн спектра для решётки 1200 штрихов на миллиметр.

При развёртке спектра движение от шагового двигателя 1 передаётся через шестерни и червячную пару на винт 2 синусного механизма и на счётчик длин волн. Для нанесения на запись реперных меток служит реперное устройство. При вращении винта 2 через шестерни 6 движение передаётся диску 7, помещённому между двумя парами магнитов и герметизированных магнитоуправляемых контактов (герконов). Диск имеет вырезы, обеспечивающие срабатывание герконов и выдачу реперного

сигнала через один нанометр, и одно отверстие, несколько смещённое от центра, обеспечивающее выдачу реперных сигналов через 10 нанометров.

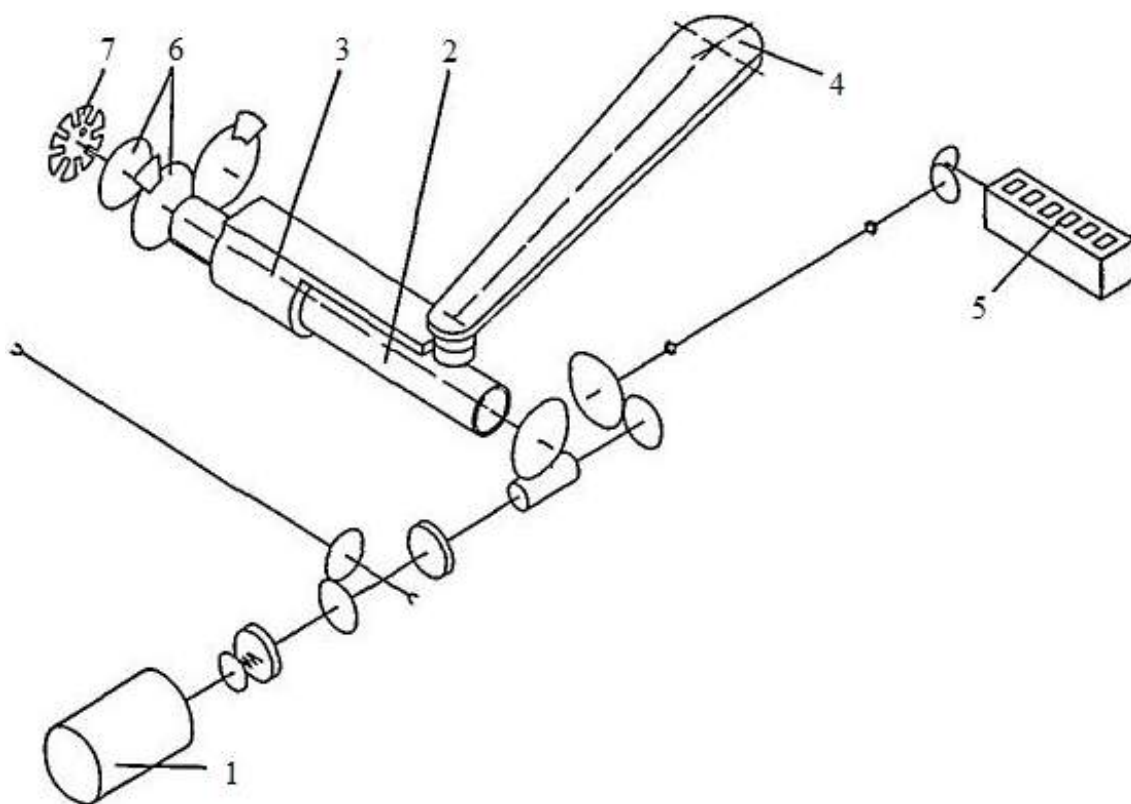


Рис. 1. Механическая схема монохроматора ЛОМО МДР-23

Управление шаговым двигателем 1 в оригинале осуществляется по полношаговой схеме. При этом реперные сигналы используются для фиксированного перемещения на конечное значение длины волны. Для организации конечных точек перемещения используются два концевых микропереключателя, при замыкании которых шаговый двигатель останавливает своё вращение.

При работе шагового двигателя в режиме полного шага возникают вибрации, которые снижают точность позиционирования решётки. При работе на полношаговый режим ротор двигателя вращается рывками: сначала разгоняется, притягиваемый очередной обмоткой, потом затормаживается с колебаниями, достигнув конечного положения.

Чтобы обеспечить лучшее позиционирование, меньшую вибрацию и бесшумную работу вплоть до нулевой частоты, необходимо использовать режимы полу-шага и микрошага.

Во многих приложениях, где требуются малые относительные перемещения и высокая разрешающая способность, микрошаговый режим

способен заменить механический редуктор. Часто простота системы является решающим фактором, даже если при этом придется применить двигатель больших габаритов. Несмотря на то, что драйвер, обеспечивающий микрошаговый режим, намного сложнее обычного драйвера, всё равно система может оказаться более простой и дешевой, чем шаговый двигатель, плюс редуктор. Современные микроконтроллеры иногда имеют встроенные ЦАПы, которые можно использовать для реализации микрошагового режима взамен специальных контроллеров. Это позволяет сделать практически одинаковой стоимость оборудования для полношагового и микрошагового режимов.

Иногда микрошаговый режим используется для увеличения точности величины шага сверх заявленной производителем двигателя. При этом используется номинальное число шагов. Для повышения точности используется коррекция положения ротора в точках равновесия. Для этого сначала снимают характеристику для конкретного двигателя, а затем, изменяя соотношение токов в фазах, корректируют положение ротора индивидуально для каждого шага. Такой метод требует предварительной калибровки и дополнительных ресурсов управляющего микроконтроллера. Кроме того, требуется датчик начального положения ротора для синхронизации его положения с таблицей корректирующих коэффициентов.

На практике при осуществлении каждого шага ротор не сразу останавливается в новом положении равновесия, а осуществляет затухающие колебания вокруг положения равновесия. Время установления зависит от характеристик нагрузки и от схемы драйвера. Во многих приложениях такие колебания являются нежелательными. Избавиться от этого явления можно путем использования микрошагового режима. На рис. 2 показаны перемещения ротора при работе в полношаговом и микрошаговом режимах.

Режим полушага является производной формой полношагового режима. Этот метод управления достаточно распространен, так как двигатель с меньшим шагом стоит дороже и очень заманчиво получить от 100-шагового двигателя 200 шагов на оборот. Каждый второй шаг запитан лишь одна фаза, а в остальных случаях запитаны две (рис. 3). В результате угловое перемещение ротора составляет половину угла шага для первых двух способов управления. Кроме уменьшения размера шага этот способ управления позволяет частично избавиться от явления резонанса. Полушаговый режим обычно не позволяет получить полный момент, хотя наиболее совершенные драйверы реализуют модифицированный полушаговый режим, в котором двигатель обеспечивает практически полный момент.



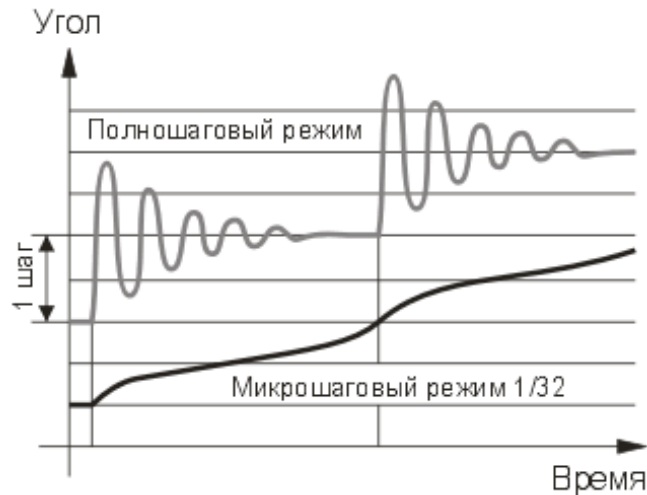


Рис. 2. Перемещение ротора в полношаговом и микрошаговом режимах

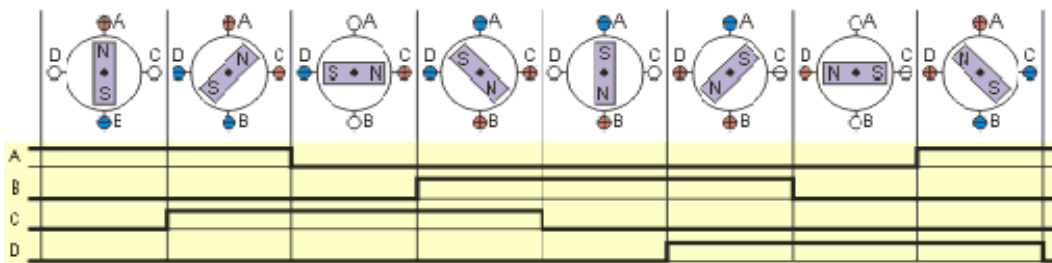


Рис. 3. Положения ротора в полушаговом режиме

### Список информационных источников

1. Емельянов А.В., Шипин А.Н. Шаговые двигатели. – ВолГТУю. – Волгоград, 2005. – 123 с.
2. Кенио Такаши. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 234 с.
3. Vladimir Rentyuk. Control stepper motors in both directions // EDN. – 2010. – March 18.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.steppmotor.ru/articles/01.10.2016>
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://de.nanotec.com/schrittmotor\\_animation.html](http://de.nanotec.com/schrittmotor_animation.html) 01.10.2016
6. Электропривод с шаговым двигателем – URL: <http://www.elkos.com.ua>

# ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПОД УГЛОМ

*Е.Н. Камышева*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Лобанова И.С., ст. преподаватель кафедры  
физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой длины.

Стандартизированные параметры для оценивания качества поверхностей обязательны для всех предприятий, организаций и учреждений. Для шероховатости поверхности установлен межгосударственный стандарт ГОСТ 2789-73, то есть измерение шероховатости поверхностей имеет огромное значение.

Для чего применяются измерители шероховатости поверхности? Повсюду, где структура поверхности влияет на функционирование, технологию или внешний вид составляющих компонентов и продукции, тщательный её контроль имеет большое значение.

Любая, обработанная даже тщательнейшим образом поверхность детали, не может быть полностью идеально ровной. Значение гладкости и ровности поверхности детали в любом случае будет отличаться от заданного чертежом значения.

Оценку шероховатости можно произвести следующими способами:

1. Путём *сравнения отдельных элементов* изделия или в комплексе с образцами шероховатости.

Минусы:

- начнём с того, что ещё с ХХ-го века специалисты делали это визуально и на ощупь. Однако в современном мире такой субъективный метод недостаточно не достаточно достоверен.

- Изделия сложной конструкции достаточно неудобно проверять в труднодоступных местах и сравнивать эти поверхности с образцами шероховатости.

2. *Щуповой метод измерения* шероховатости поверхности – это контактный метод, измерения при котором производятся при помощи профилометра. Профилометр представляет собой чувствительный датчик, оборудованный тонкой, остро заточенной алмазной иглой, с так называемой, ощупывающей головкой. Алмазная игла прижимается и перемещается параллельно исследуемой поверхности. В местах возникновения микронеровностей (выступов и впадин), возникают меха-

нические колебания измерительной головки иглы. Эти колебания передаются в датчик, преобразующий механическую энергию колебания в электрический сигнал, который усиливается преобразователем и измеряется. Записанные параметры этого сигнала в точности повторяют неровности на шероховатой поверхности детали.

Минусы:

- Измерительный щуп, взаимодействуя с измеряемой поверхностью так или иначе повреждает её.
- Много времени уходит на измерение, особенно если нужно измерить поверхность образца по всей площади.

На предприятии ОАО «ИРМ» такие изделия как тарельчатые пружины, которые имеют огромное значение на данном производстве.

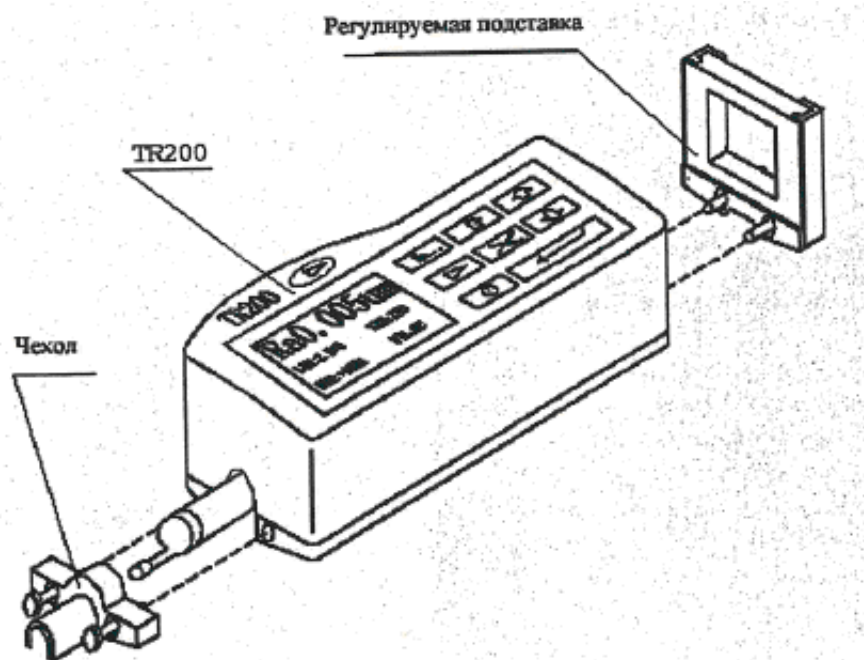


Рис. 1. Измеритель шероховатости TR-200

Контроль тарельчатых пружин производится в соответствии с требованиями чертежей.

Шероховатость поверхности контролируется прибором TR200.

В соответствии с Руководством по эксплуатации TR200 (п. 2.1) датчик прибора должен скользить параллельно измеряемой поверхности и перпендикулярно линии обработки детали.

Сложность в проведении контроля шероховатости ТП на приборе TR200 заключается в том, что контролируемые поверхности тарельчатых пружин – это не горизонтальные поверхности. Кроме того, что это выпуклые и вогнутые поверхности, они имеют ещё и разные углы наклона. Для Ду125 угол равен  $6^{\circ}20'$ , а для Ду200 –  $2^{\circ}56'$ .

До проведения измерений одним из этапов подготовки прибора к работе является установка положения датчика прибора на шкале «0», подтверждающее положение прибора устойчивым и надёжным. А это осложнено геометрическими особенностями деталей.

Ведущий инженер на предприятии придумала вот такую установку, которая полностью по углам совпадает с углами тарельчатых пружин, что существенно помогло решить проблему измерения шероховатостей тарельчатых пружин.

Что изменилось после использования приспособлений



Приспособления для контроля шероховатости позволяют провести измерения точнее и быстрее.

Подставка приспособления позволяет расположить прибор перпендикулярно к направлению линии обработки детали.

Положение датчика прибора на шкале «0» выставляется автоматически за счёт точности надёжности изготовления приспособлений.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что данная установка для тарельчатых пружин достаточно простая, а работу облегчает во много раз.

## ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОСИГНАЛИЗАТОРОВ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

*М.С. Киселева, Е.В. Сиротьян*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Лобанова И. С., ст. преподаватель кафедры  
физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

В большинстве отраслей промышленности в различных технологических процессах часто применяются газы, требующие постоянного контроля отсутствия утечек с целью обеспечения безопасности производства и снижения рисков для персонала. Для этого устанавливают системы обнаружения газов для постоянного контроля уровня рабочей среды.

Эти системы, состоящие из газоанализаторов, контроллеров, устройств оповещения и исполнительных устройств, выполняют функции раннего предупреждения о развитии опасной ситуации. Тем самым системы обнаружения газов позволяют локализовать развитие опасных ситуаций на ранних стадиях, а так же увеличивают период времени для принятия соответствующих защитных мер и действий по устранению аварийных ситуаций.

Газосигнализатор ГСМ-05 ОФТ.20.410.00.00 предназначен для непрерывного контроля горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей. Газосигнализатор является стационарным прибором, состоящим из блока сигнализатора и блока детекторного. Блок сигнализатора выполнен во не взрывозащищённом исполнении и устанавливается за пределами взрывоопасной зоны.

Программное обеспечение, установленное в газосигнализаторе, предназначено для измерения электрических характеристик блока детекторного и пересчета их в концентрацию газа, воздействующего на блок детекторный.

Блок детекторный предназначен для измерения теплового эффекта от окисления горючих газов на каталитически активном элементе и передачи информации на блок сигнализатора для дальнейшего ее преобразования.

БС является функционально законченным блоком и предназначен для измерения сигнала, поступающего с БД, его анализа и выдачи дискретных управляющих сигналов.

Конструктивно БС выполнен в корпусе из ABS пластика. Корпус предназначен для установки на рейку DIN-35. Внешний вид БС приведён на рис. 1.

Газосигнализатор имеет два режима работы:

- а) режим «Настройка»;
- б) режим «Работа».

После включения питания газосигнализатор находится в режиме «Настройка». При этом загорается индикатор «Отказ» (режим отказ сопровождается звуковым сигналом). В данном режиме осуществляется проверка исправности БД, проверка состояния необходимых для работы настроек. По результатам самодиагностики принимается решение о переходе в режим «Работа».

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений содержания газа, % НКПР  $\pm 5$ ;

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности срабатывания порогового устройства, % НКПР  $\pm 1,0$ ;

Пределы допускаемой дополнительной погрешности срабатывания порогового устройства при измерении температуры окружающей и контролируемой среды от  $-60$  до  $+50$  на каждый  $10$  °С, % НКПР  $\pm 0,2$ ;

Время срабатывания порогового устройства, с, не более 10;

Поверочным компонентом для газосигнализаторов служит метан;

Питание газосигнализаторов осуществляется от сети переменного тока частотой  $(50 \pm 1)$  Гц, напряжение от 110 до 242 В.

### Список информационных источников

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.npptec.ru/417-1-okompanii.html> 01.10.2016
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://enjoy-job.ru/professions/metrolog/> 01.10.2016
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.npptec.ru/400-1-gazosignalizatorgsm-05.html> 01.10.2016
4. Книга ГАЗОСИГНАЛИЗАТОР ГСМ-05 руководство по эксплуатации ОФТ.20.410.00.00 РЭ

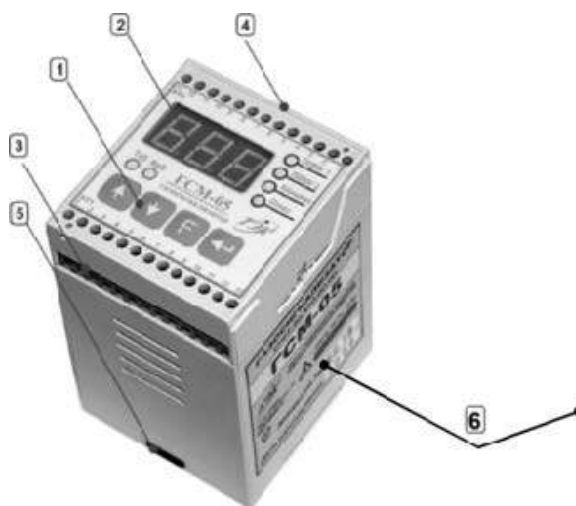


Рис. 1. Внешний вид БС: 1 – пленочная клавиатура; 2 – цифровой индикатор; 3 – разъем ХТ1; 4 – разъем ХТ2; 5 – зажим крепежный; 6 – информационный шильдик

# АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛАЗЕРНОГО ТРЕХКООРДИНАТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДИАМЕТРА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**А.А. Коба**

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Федоров Е.М., к.т.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

В работе предложен трехкоординатный метод измерения диаметра и овальности цилиндрических объектов в расходящемся лазерном пучке. Разработано математическое обеспечение метода, а также, произведены его виртуальное моделирование и экспериментальная апробация. Полученные результаты могут быть использованы для разработки и изготовления бесконтактных оптических приборов технологического контроля наружного диаметра изделий кабельной, трубной и других отраслях промышленности.

Схема рассматриваемого трехкоординатного измерителя показана на рис. 1. Прибор содержит три измерительных канала, оси которых  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  расположены относительно друг друга на угол  $120^\circ$ . В каждом канале имеется точечный излучатель (полупроводниковый лазер), создающий расходящийся световой поток и многоэлементный фотоприёмник, измеряющий размер тени падающей от объекта. Объект измерения находится в зоне контроля, освещается тремя излучателями, и образуют три тени на фотоприемниках соответствующих измерительных каналов.

В работе [1] выведены выражения для расчета радиусов для каждой из осей в трехкоординатной оптической системе с расходящимся пучком:

$$\begin{aligned}
 R_X &= \sqrt{E_X^2 + \left( H_{X0} - \frac{E_Y}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \frac{E_X}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)} \right)^2} \cdot \sin \frac{1}{2} \left( \operatorname{arctg} \frac{X_2}{H_X} - \operatorname{arctg} \frac{X_1}{H_X} \right); \\
 R_Y &= \sqrt{E_Y^2 + \left( H_{Y0} - \frac{E_X}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \frac{E_Y}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)} \right)^2} \cdot \sin \frac{1}{2} \left( \operatorname{arctg} \frac{Y_2}{H_Y} - \operatorname{arctg} \frac{Y_1}{H_Y} \right); \quad (1) \\
 R_Z &= \sqrt{E_Z^2 + \left( H_{Z0} + \frac{E_X}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \frac{E_Z}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)} \right)^2} \cdot \sin \frac{1}{2} \left( \operatorname{arctg} \frac{Z_2}{H_Z} - \operatorname{arctg} \frac{Z_1}{H_Z} \right),
 \end{aligned}$$

где расстояния от центра объекта до соответствующих осей равны:

$$\frac{E_X}{X_0} = \frac{H_{X0} - \frac{E_Y}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \frac{E_X}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)}}{H_X};$$

$$\frac{E_Y}{Y_0} = \frac{H_{Y0} - \frac{E_X}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \frac{E_Y}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)}}{H_Y};$$

$$\frac{E_Z}{Z_0} = \frac{H_{Z0} + \frac{E_X}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \frac{E_Z}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)}}{H_Z}.$$
(2)

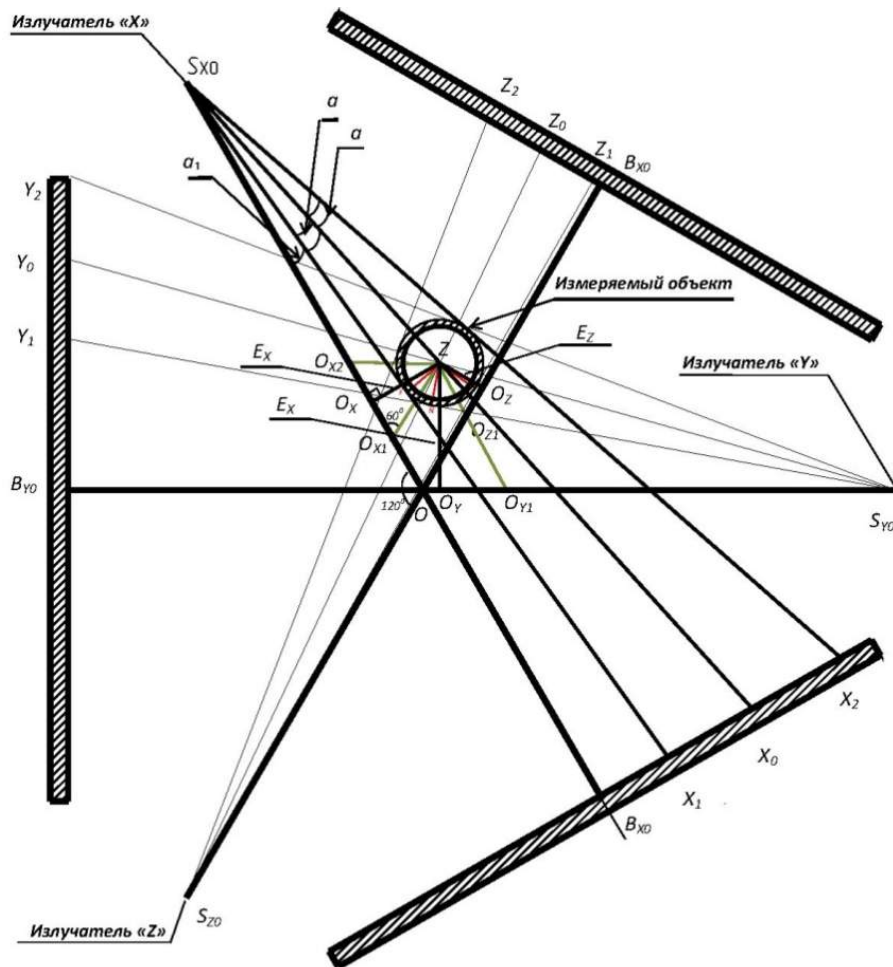


Рис. 2. Расчетная схема прибора с тремя измерительными осями



Положения проекции центра объекта на соответствующих много-электронных приемниках равны:

$$\begin{aligned} X_0 &= H_X \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \left( \operatorname{arctg} \frac{X_2}{H_X} + \operatorname{arctg} \frac{X_1}{H_X} \right); \\ Y_0 &= H_Y \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \left( \operatorname{arctg} \frac{Y_2}{H_Y} + \operatorname{arctg} \frac{Y_1}{H_Y} \right); \\ Z_0 &= H_Z \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \left( \operatorname{arctg} \frac{Z_2}{H_Z} + \operatorname{arctg} \frac{Z_1}{H_Z} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

#### *Апробация метода*

Для проверки предложенных выше выражений (1-3) было произведено компьютерное моделирование трёх координатного оптического преобразователя для измерения диаметра цилиндрических изделий. Компьютерная модель в соответствии с рис. 2 содержала три идентичных измерительных канала повернутых друг относительно друга на  $120^\circ$ . Начальные геометрические параметры для упрощения вычислений были взяты одинаковыми для всех измерительных каналов и имели следующие значения:

- расстояния от центра излучателя до плоскости приемника  $H_x = H_y = H_z = 300$  (мм);
- расстояния от центра излучателя до центра рабочей зоны являющейся центром пересечения осей измерительных каналов  $H_{x0} = H_{y0} = H_{z0} = 220$  (мм).

Такие значения геометрических параметров первичного преобразователя являются типичными для получения зоны измерения достаточной для большинства применений. Длина рабочей поверхности много-элементных приёмников в такой модели не превышает 100 мм. Все начальные геометрические параметры, а также виртуальные положения теней на плоскостях приёмников излучения по соответствующим каналам (рис. 2)  $X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1$  и  $Z_2$ , были определены в компьютерной модели с погрешностью  $\approx 1$  мкм. Для проверки были смоделированы круглые объекты с различным диаметром и различным расположением в виртуальной зоне измерения. При подстановке полученных при моделировании значений в выражения (1)–(3) были рассчитаны значения диаметров измеряемого объекта по соответствующим измерительным осям  $X, Y$  и  $Z$ . Значения расчётных диаметров осей  $D_x, D_y, D_z$  для трёх произвольных круглых объектов диаметром  $D$  приведены в табл. 1.

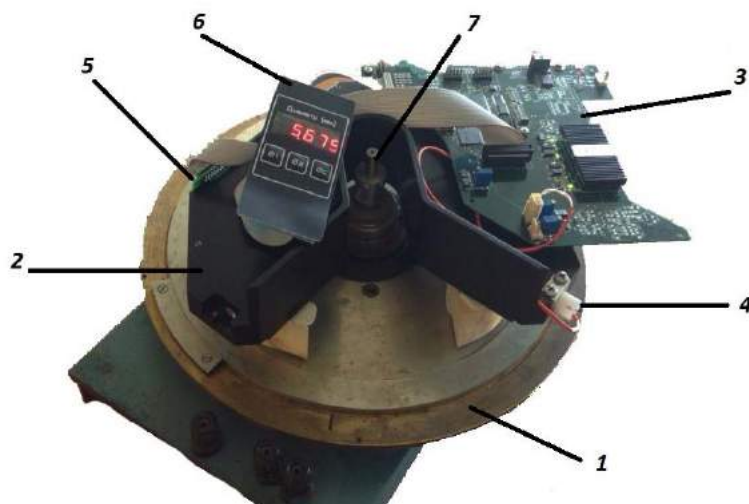
Абсолютная погрешность расчёта диаметра по измерительным осям  $\Delta D_x, \Delta D_y$  и  $\Delta D_z$ , а также средняя погрешность  $\Delta D_{\text{ср}}$  не превышает

3 мкм. Такой результат, учитывая погрешность определения начальных параметров, является вполне приемлемым результатом. Практика показывает, что точность расчёта диаметра очень сильно зависит от точности определения начальных параметров. В работе [2] приведены механизмы решения данной проблемы.

Таблица 1

*Значения диаметров погрешности по осям, полученных при компьютерном моделировании*

Измеряемый диаметр $D$ (мм)	Диаметр $D_x$ (мм)	Погрешность $\Delta D_x$ (мкм)	Диаметр $D_y$ (мм)	Погрешность $\Delta D_y$ (мкм)	Диаметр $D_z$ (мм)	Погрешность $\Delta D_z$ (мкм)	Погрешность $\Delta D_{ср}$ (мкм)
10.000	10.003	-3	10.002	-2	9.998	2	-1
17.000	16.997	3	16.999	1	17.002	-2	0.67
25.000	24.999	1	25.001	-1	25.000	0	0



*Рис. 3. Экспериментальная установка, состоящая из: 1 – поворотный стол; 2 – корпус преобразователя; 3 – управляющая электронная плата; 4 – точечный источник излучения (полупроводниковый лазер); 5 – плата ПЗС приёмника; 6 – индикатор с клавишами управления; 7 – объект с известным диаметром (калибр)*

Дальнейшая апробация метода и предложенной математической модели измерения проводилась с использованием реального прототипа измерительного устройства с расходящимся лазерным пучком. Для упрощения проведения эксперимента в установке был применён первичный измерительный преобразователь от измерителя диаметра «LDM-20» описанного в работе [3]. Внешний вид экспериментальной установки приведён на рис. 3. Прототип представлял из себя систему с одним

оптическим измерительным каналом, содержащим ПЗС сенсор и лазерный излучатель. Данный преобразователь был помещён на поворотный стол, способный вращаться на  $360^\circ$  с точностью установки угла поворота до 1 угловой минуты. В центре стола неподвижно размещался объект с известным диаметром (калибр). При вращении поворотного стола на углы  $0^\circ$ ,  $+120^\circ$  и  $-120^\circ$  был экспериментально воспроизведен трёхкоординатный преобразователь, показанный на рис. 2. Геометрические параметры оптического преобразователя имели следующие значения:

- Расстояния от центра излучателя до плоскости приемника  $H_x = H_y = H_z = 207.4$  (мм).

- Расстояния от центра излучателя до центра рабочей зоны  $H_{x0} = H_{y0} = H_{z0} = 134$  (мм).

- Размер пикселя применяемой ПЗС линейки (NEC uPD8871) равен 4 мкм. Количество пикселей 10680.

Экспериментально были измерены положения границ тени  $X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1$  и  $Z_2$  (рис. 2) далее, как и в компьютерной модели, с использованием выражений (1)–(3) были получены расчётные значения для трёх калибров с известным диаметром. Результаты расчёта диаметров и погрешностей их расчёта приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Значения диаметров и погрешности по осям полученных экспериментально*

Диаметр калибра D (мм)	Диаметр $D_x$ (мм)	Погрешность $\Delta D_x$ (мкм)	Диаметр $D_y$ (мм)	Погрешность $\Delta D_y$ (мкм)	Диаметр $D_z$ (мм)	Погрешность $\Delta D_z$ (мкм)	Погрешность $\Delta D_{cp}$ (мкм)
14.842	14.832	-10	14.839	-3	14.847	5	-2,7
10.178	10.171	-7	10.170	-8	10.171	-7	-7,3
12.900	12,905	5	12.901	1	12.891	-9	-1

Абсолютная погрешность расчёта диаметра по измерительным осям  $\Delta D_x, \Delta D_y$  и  $\Delta D_z$ , а также средняя погрешность  $\Delta D_{cp}$ , хоть и незначительно превышает значения полученные при моделировании (таб. 2) всё равно остаётся в пределах 10 мкм. Данный результат очень хорошо согласуется с результатом моделирования. Это дополнительно доказывает верность вывода выражений (1)–(3) для расчёта диаметра в трёхкоординатных системах. Увеличение погрешности расчётных значений диаметра полученных из экспериментальных данных можно объяснить не идеальностью установки (рис. 3). Проектирование стойкой к деформации конструкции трёхкоординатного измерительно преобразователя и

применение алгоритмов цифровой обработки данных позволит преодолеть эти проблемы.

#### *Заключение*

Осуществлено компьютерное моделирование трёхкоординатного преобразователя данные которого хорошо коррелируются с экспериментальными, что подтвердило правильность предложенной функции преобразования. Применение описанного и смоделированного в данной работе оптического метода и его математического обеспечения позволит создать первичный измерительный преобразователь для прибора контроля диаметра и овальности протяжённых изделий.

#### **Список информационных источников**

1. Коба А.А. Расчет диаметра в бесконтактных трехкоординатных измерителях с расходящимся лазерным пучком // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2016. – Т. 1. – С. 155–160.
2. Chursin Y.A., Fedorov E. M. Method of resolution enhancement to flares diameter measuring instruments // Optics & Laser Technology. – 2015. – Vol. 67. – pp. 86–92.
3. Svendrovskii A.R., Raschet diametra v beskontaktnykh dvukhkoordinatnykh izmeritelyakh // Proceedings of the 1st all-Russian science conference on Scientific and Engineering problems of instrument engineering. – Tomsk. 2005. – pp. 31–33.

# СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

*Т.А. Кузнецова*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Лобанова И. С., старший преподаватель кафедры физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

В ходе прохождения практики на АО «Элеси» возникла необходимость разобраться, почему автоматический оптический инспектор пропускает дефекты на печатных платах, такие как пропуск или смещение компонента, установка компонента не по ключу, перемычки между ножками микросхем и другие.



*Рис. 1. Автоматический оптический инспектор Viscom*

Автоматический оптический инспектор используется для инспекции качества нанесения паяльной пасты, установленных компонентов и паяльных соединений. АОИ проверяет качество нанесения паяльной пасты, наличие и правильную установку компонентов, качество паяных соединений. Скорость проверки одной платы в среднем составляет 30 секунд, что позволяет системам автоматического оптического кон-

троля поддерживать производительность даже крупносерийных линий поверхностного монтажа.

Линия автоматического оптического инспектора состоит из магазина, в который помещаются платы, конвейера, который осуществляет связь между загрузчиком и АОИ, непосредственно автоматического оптического инспектора и разгрузчика плат в магазины. На каждой плате наклеен QR-код, в котором содержится информация о найденных на плате ошибках.

В ходе прохождения практики появилась необходимость выяснить, почему система автоматического оптического контроля пропускает дефекты. После анализа литературы и наблюдения за процессом контроля были определены следующие возможные причины:

1. Неудачная геометрия печатных плат («мёртвые зоны», образующиеся из-за близкого расположения высоких элементов).

2. Возможно, оборудование устарело, и разрешения камеры не хватает для качественного контроля SMT-компонентов, также из-за этого возможен пропуск элементов, установленных не по ключу.

3. Блики от металлических компонентов мешают проведению контроля.

4. После калибровки изменилась освещенность.

5. Недостаточно качественно написанные программы.

6. Необходимость более частого сервисного обслуживания.

Было выявлено, что нет необходимости менять оборудование, потому что АОИ способен контролировать SMT-компоненты типоразмером 0201, этого вполне достаточно для нужд предприятия. Также АОИ способен контролировать заготовки размером до  $720 \times 720$  мм, в основном все заготовки не превышают этот размер. Контроль заготовок большего размера можно проводить вручную.

Было выявлено, что в ходе написания программы оператор не прописывает те выводы, которые попадают в слепую зону, и АОИ их не контролирует. В дальнейшем такие элементы с не до конца прописанными выводами попадают в библиотеку, и возможен их случайный выбор при написании программы для такой платы, где эти выводы не находятся в слепой зоне. Соответственно, АОИ их не контролирует, возможен пропуск дефекта.

Также столкнулись с такой проблемой, что при обнаружении на заготовке более 100 ошибок АОИ не выводит на экран их описание, а просто признает плату браком. Чтобы видеть полный список ошибок, операторы АОИ не контролируют заготовку и ортогональными, и боковыми камерами, а выбирают что-то одно. В таком случае АОИ пропускает достаточно много дефектов. Для полного и качественного контроля

необходимо использовать все камеры. Для этого нужно либо проверять каждую заготовку 2 раза, что замедлит процесс производства, либо изменить настройки АОИ так, чтобы он показывал более 100 ошибок на заготовке. Сотрудники не могут изменить настройки, так как имеют инструкцию только на английском языке, необходим перевод.

Для решения проблемы были предложены следующие мероприятия:

1. Перевод инструкции на русский язык. Это позволит сотрудникам максимально использовать возможности АОИ.
2. Большая внимательность при написании программ, это позволит исключить случайные ошибки при выборе элементов из библиотеки.
3. Повышение квалификации сотрудников, обучение.
4. Контроль платы как ортогональными, так и боковыми камерами. Это позволит проконтролировать даже «мертвые зоны».
5. Проведение сервисного обслуживания силами самих сотрудников.
6. Более тщательный контроль особо важных заготовок.
7. Установка необходимого уровня освещенности.

Данные мероприятия существенно снизят процент пропускаемого брака, а также сделают процесс контроля более эффективным и экономически выгодным.

## КОНТРОЛЬ СОСТАВА СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

*А.Н. Кузнецова, О.В. Кузнецова*

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск*

*Научный руководитель: Кузнецова О.В., к.х.н., доцент кафедры технологии  
продуктов питания и химии ИРНИТУ*

Сварка как высокопроизводительный процесс изготовления неразъемных соединений находит широкое применение при изготовлении металлургического, химического и энергического оборудования, различных трубопроводов, в машиностроении, в производстве строительных и других конструкций. Несмотря на достижения в развитии технологии процессов и техники более 70 % сварочных работ выполняются ручным способом, и в результате сварщик подвергается воздействию сварочного аэрозоля [1, 2]. Повышение концентраций аэрозоля в воздухе рабочей зоны может вызывать отклонения в состоянии здоровья, а при определенной длительности и интенсивности воздействия привести к развитию профессиональных заболеваний. Наибольший риск для возникновения нарушений здоровья работающих представляет твердая составляющая сварочного аэрозоля (ТССА), содержащая соединения тяжелых металлов, таких как марганец, железо, хром, никель [3]. Поэтому проблема качественного лабораторного контроля состояния воздушной среды весьма актуальна и его роль возрастает с износом технологического оборудования и с внедрением современных технологий.

Внедрение экспрессных методов анализа ТССА ограничивается отсутствием стандартных образцов (СО) состава сварочных аэрозолей, собранных на фильтр. Создать их очень трудно, т.к. требуется изготовить большое число экземпляров образцов с одинаковым составом, чтобы часть их использовать для аттестационных анализов, а оставшиеся применять как аттестованные СО. Особую сложность при создании СО сварочных аэрозолей представляет широкие вариации фазового и химического состава ТССА и размера ее частиц от 0,01 до 7 мкм [4]. Состав ТССА зависит от условий ведения сварочных работ, поэтому требуется создание стандартных образцов для каждого типа сварки отдельно.

Аттестация в качестве СО реальных проб, собранных на фильтр, не представляется возможной, так как неравномерность распределения загрязняющих веществ в контролируемом объекте не позволяет получить группу проб одинакового химического состава. Здесь видится путь только через создание синтетических образцов, которые были бы по своим физико-химическим характеристикам адекватны реальным пробам.



Часто в качестве синтетических образцов состава ТССА используют фильтры, на которые нанесены растворы определяемых элементов на фильтр. Следует отметить, что материал фильтров может содержать переменные количества различных металлов, поэтому для приготовления образцов целесообразно использовать фильтры того же типа и коммерческой партии, что и для отбора проб. Преимущество этого приема – простота препарирования, а основной недостаток – неадекватность таких образцов реальным пробам ТССА по физико-химическим свойствам. Поэтому более перспективно использовать образцы, полученные осаждением частиц соединений контролируемых компонентов на фильтр. Однако, такие образцы мало пригодны для длительного хранения и транспортировки, а также при работе в вакууме из-за возможного осыпания частиц.

Наиболее близким по физико-химическим свойствам к реальным пробам аэрозолей, собранным на аспирационный фильтр, будут образцы, в виде полимерных пленок, содержащих порошок – носитель определяемых элементов, который представляет собой гомогенизированный тонкодисперсный материал ТССА.

На этапе выбора полимера оценили возможность использования следующих полимеров: поливинилхлорид (ПВХ), поливиниловый спирт (ПВС), полистирол (ПС), метилцеллюлоза (МЦ), поливинилбутираль (ПВБ), сополимер винилглицидилового эфира с винилхлоридом (ВЭТ-ВХ) после их растворения в воде, этаноле, ацетоне, толуоле, хлороформе, дихлорэтаноле, диметилформамиде. Полученные растворы полимеров выливали на очищенную горизонтальную стеклянную поверхность и высушивали на воздухе. Гладкие пленки получили только из растворов ПВС и МЦ в воде, ПС в толуоле, ВЭТ-ВХ в диметилформамиде; в других случаях высушенный полимер содержал кристаллические включения и не отделялся от поверхности стекла. Пленки из раствора ВЭТ-ВХ в диметилформамиде оказались очень хрупкими, пленки из раствора МЦ в воде являются гигроскопичными. Кроме того, следует учесть, что толуол и диметилформамид токсичные растворители.

На основании вышеизложенного предложен способ изготовления синтетических СО состава сварочных аэрозолей, собранных на фильтр, адекватных реальным пробам. Использование материала ТССА, полученных при различных типах сварки, позволяет создавать образцы с широкими вариациями фазового и химического состава.

### Список информационных источников

1. Мамедов А.Т., Рустамов Р.Д. Исследование условий труда сварщиков на монтаже // Сварка в Сибири. – 2005. – № 1. – С. 90-91.
2. Бернадский В.И., Маковецкая О.К. Сварочное производство и рынок сварочных технологий в современной экономике // Автоматическая сварка. – 2007. – № 1. – С. 44–48.
3. Степанова Т.В., Нестеренко Н.А., Коржова Е.Н., Смагунова А.Н. Процессы образования и физико-химические свойства сварочных аэрозолей // Сварочное производство. – 2015. – № 10. – С. 12–20.
4. Berlinger B., Benker N., Weinbruch S., L'Vov B., Ebert M., Koch W., Ellingsen D.G., Thomassen Y. Physicochemical characterisation of different welding aerosols // Anal. Bioanal. Chem. – 2010. – V. 399. – P. 1773–1780.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Д.С. Липчанский, Д.Н. Мелков, Н.В. Варлачева*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Романцов И.И., к.т.н., старший преподаватель кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ТПУ*

Одним из видов надзора, который осуществляется на нефтегазодобывающих предприятиях, является надзор за опасными производственными объектами нефтегазодобывающего комплекса.

Промышленная, энергетическая и экологическая безопасность – это одна из важнейших составных частей национальной безопасности России, предполагающие создание необходимых условий для устойчивого функционирования и развития экономики, снижения вероятности техногенных аварий и катастроф, обеспечения социальной стабильности. Осуществление этого надзора входит в полномочия Управления Ростехнадзора. Управлению регламентированы полномочия по осуществлению более двух десятков видов надзора – от химического до надзора за подъемными сооружениями.

На территории России осуществляют деятельность по эксплуатации, проектированию и ремонту в нефтегазодобывающей отрасли – организации, эксплуатирующие опасные производственные объекты.

В нефтегазодобывающем комплексе России опасные производственные объекты относятся к объектам первого типа опасности, на которых разрабатываются декларации промышленной безопасности.

Ежегодно Управлением Ростехнадзора проводятся обследования опасных производственных объектов нефтегазодобывающих компаний, и к сожалению, регулярно выявляются недостатки и выписываются предписания по нарушениям требований законодательства, нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов. Привлекаются к административной ответственности за нарушение требований законодательства руководящие работники ответственные лица [1].

Анализируя основные показатели надзорной и контрольной деятельности, можно наблюдать положительную тенденцию эффективности надзорной функции на объектах нефтегазодобычи. Происходит снижение недопущения аварий и травматизма со смертельными исходами, уменьшилось число инцидентов.

Среди основных проблем и нарушений, выявленных при обследовании предприятий, эксплуатирующих опасные производственные объекты нефтегазового комплекса, можно выделить следующие:

- не эффективно внедряются системы управления промышленной безопасности, что не всегда позволяет принимать эффективные меры по снижению нарушений технологической дисциплины;
- высокая степень износа основного оборудования (трубопроводов, станков-качалок), низкие темпы внедрения современных технологий, недостаточное оснащение надежными системами автоматики и телемеханики;
- применение несертифицированного оборудования: из общего количества технических устройств, эксплуатируемых в нефтяной отрасли, 70 % не имеют сертификатов соответствия, около 80 % выпущены до 1999 года;
- нарушаются сроки проведения экспертизы промышленной безопасности технических устройств, отработавших нормативный срок службы;
- необоснованно переносятся сроки проведения текущих ремонтов, не учитывается наработка технических устройств с момента пуска в эксплуатацию, низкое качество проведения ремонтов оборудования сервисными организациями, аттестация сварочных технологий проведена лишь на 30 % предприятий;
- несвоевременное проведение учебно-тренировочных занятий по планам ликвидации возможных аварий.

Безопасность объектов зависит от своевременного принятия мер по ее обеспечению как на этапах проектирования, строительства и испытания новых объектов, так и на этапах их эксплуатации, технического обслуживания, диагностирования и ремонта. Однако для достижения высокого уровня безопасности объектов необходимы не только технические мероприятия, такие как диагностирование, ремонт, замена изношенного оборудования, но и постоянное обучение персонала самих предприятий и подрядных организаций требованиям, обеспечивающим безопасность работ на объекте, с постоянным практическим анализом риска на объектах нефтегазового комплекса и обязательным вовлечением всех категорий персонала в управление безопасностью нефтегазодобывающих предприятий.

Обеспечение промышленной, энергетической и экологической безопасности – это общегосударственная задача, и только совместными усилиями возможно решить проблемы защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производствен-

ных объектах и их последствий, предотвратить чрезвычайные ситуации, не допускать травматизма на поднадзорных объектах.

Частые инциденты, происходящие на объектах предприятий – это порывы нефтепромысловых и технологических трубопроводов (20 %), падение головки балансира станков-качалок (80 %). Основными причинами инцидентов являются некачественный монтаж и несвоевременность проведения технического обслуживания и планового ремонта технологического оборудования. Эти замечания относятся не только к эксплуатирующим организациям, но и к сервисным, которые занимаются обслуживанием, ремонтом и монтажом оборудования. Руководством предприятий проведены соответствующие расследования, виновные привлечены к дисциплинарной ответственности, проведены внеочередные проверки знаний ответственных лиц, сделаны соответствующие выводы по недопущению инцидентов. С целью уменьшения количества инцидентов планируются целевые проверки предприятий и их подразделений по вышеназванной тематике [1].

Среди других проблем нефтегазового комплекса стоит выделить применение на опасных производственных объектах не сертифицированного оборудования. Нормативным документом, определяющим необходимость проведения процедуры сертификации, является «Общероссийский классификатор» ОК005-93, определяющий номенклатуру продукции, в отношении которой законодательными актами РФ предусматривается обязательная сертификация. Более благоприятная картина складывается с оборудованием для строительства и ремонта нефтяных и газовых скважин, так как 90 % данного оборудования имеют сертификаты соответствия [4].

При проведении комплексных и оперативных проверок были выявлены нарушения по применению не сертифицированного оборудования, что было отображено в предписаниях, согласовании графиков проведения сертификации вывода не сертифицированного оборудования из эксплуатации. Общее количество сертификатов соответствия составляет лишь 35 % от общего количества оборудования, используемого в нефтегазодобывающей области.

**Для устранения нарушений, выявленных отделом, предлагаются следующие мероприятия:**

- разработать планы-графики по замене устаревшего, морально изношенного, не имеющего сертификатов соответствия оборудования, согласовать с Управлением Ростехнадзора;
- внедрить на каждом нефтегазодобывающем предприятии системы управления промышленной безопасности;

- повысить качество ремонта, обслуживания технических устройств. В отношении сервисных организаций предусмотреть процедуру регистрации в базе данных подконтрольных предприятий, с определением необходимых документов и выдачи свидетельства о допуске к работе;

- принять эффективные меры воздействия на подконтрольных предприятиях по снижению нарушений технологической дисциплины на всех этапах, начиная от проектирования, строительства, испытания новых объектов, включая эксплуатацию, техническое обслуживание, диагностирование, ремонт, а также обучение персонала и специалистов [2].

Таким образом, выполнив вышеперечисленные мероприятия, нефтегазодобывающие предприятия смогут не только ликвидировать актуальные проблемы производственной безопасности, но и уменьшить количество несчастных случаев на самих месторождениях предприятий.

### **Список информационных источников**

1. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. – М. Изд. «Дело». – 2015. – 64 с.
2. Дополнительные требования к содержанию декларации безопасности и методика её составления, учитывающие особенности декларирования безопасности гидротехнических сооружений на подконтрольных Госгортехнадзору России организациях (РД 03-404-01): Постановление Госгортехнадзора России от 09.04.01 № 11.
3. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федеральный закон от 8 августа 2001 г. № 128 - ФЗ (с изменениями).
4. Положение о порядке выдачи разрешений на применение технических устройств на опасных производственных объектах (РД 03-485-02).

## ОСОБЕННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ЛИЧНОГО СОСТАВА МЧС РОССИИ ПО ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

*Ю.Н. Лиховодова, Д.Г. Назметдинова*

*Томский политехнический университет, г.Томск*

*Научный руководитель: Назметдинова Д.Г., психолог ФГКУ*

*«5 отряд ФПС по ТО»*

Как известно, работа сотрудника МЧС сопряжена с постоянным риском, стрессом, проходит в условиях больших психофизических нагрузок. Любая ошибка, непрофессионализм могут привести к трагическим последствиям. В связи с этим к профессиональной подготовке личного состава МЧС России относятся с должным вниманием.

В целом основными задачами профессиональной подготовки личного состава МЧС России являются подготовка квалифицированных кадров, обучение умелым и эффективным действиям, обеспечивающим успешное выполнение оперативно-служебных задач; совершенствование навыков руководящего состава по управлению, обучению и воспитанию подчиненных, обучение личного состава приемам и способам обеспечения профессиональной и личной безопасности при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ; формирование высокой психологической устойчивости личности сотрудников и работников.

Рассматривая профессиональную подготовку личного состава МЧС России необходимо обратить большее внимание на такое направление развития образования, как деятельностно ориентированная модель, в которой целевой установкой является: «образование по своей функции является социо-культурной технологией формирования знаний, умений и навыков, а также обобщенных способов умственных и практических действий, обеспечивающих успешность социальной, трудовой и прикладной деятельности» [1]. Данная модель применима для изучения профессиональных, специальных дисциплин, в процессе практической деятельности.

Особенностями данной модель для применения в процессе подготовки личного состава являются формирования ключевых компетенций – общая способность личности мобилизовывать в деятельности свои знания и умения, обобщенные способы выполнения действий. Ключевые компетенции имеют экстрафункциональный характер, включают деятельностные знания, умения и способности, необходимые для успешной адаптации и выполнения разнообразных взаимосвязанных видов деятельности, а также формирование социальной компетенции для умения взаимодействовать внутри коллектива в экстремальной ситуации и избегать конфликта внутри группы [1].

В данной модели подготовки применяются информационные технологии обучения, основанные на концепции интериоризации, характеризующей переход внешних действий в умственные. Главное – формирование системы умственных и практических действий.

Учитывая, что экстремальные условия негативно действуют в большей мере на неподготовленных специалистов либо на группы сотрудников, которые имеют маленький опыт совместной работы в экстремальных условиях, можно сделать вывод, что для повышения профессиональной готовности функциональных групп и спасателей, необходимо на этапе подготовки к действиям в ЧС неоднократно погружать их в условия среды, которые близки к экстремальным. Примером успешного применения этой методики может служить наличие на учебном пункте пожарных частей (Учебная пожарная часть ФГКУ «5 ОФПС по ТО») специальных газодымных комнат, в условиях которых отрабатываются профессиональные навыки ведения аварийно – спасательных работ в дыхательных аппаратах в обстановке максимально приближенной к реальным: сильное задымление, звуковые, световые эффекты и т. д. [2].

Немаловажно отметить, что одной из составляющих профессиональной подготовки личного состава является так называемая психологическая подготовка. Проводится она с целью формирования профессиональных важных качеств, психологических знаний, умений и навыков, которые с одной стороны позволяют более эффективно выполнять профессиональные задачи, а с другой – сохранить свое психическое здоровье. Она включает в себя проведение как лекционных занятий с использованием современных интерактивных методик и инновационных методов обучения, учебно-методических семинаров, так и отработку полученных знаний, умений, навыков в рамках тренинговых занятий. Тренинги, как психологическая технология подготовки сотрудников – система упражнений, направленных на формирование, развитие и коррекцию метапрофессиональных характеристик личности. Основными функциями являются повышение социально-профессиональной и психологической компетентности, развитие профессиональных качеств, профилактика профессиональных деструктивных изменений, коррекция профессионального профиля личности.

Содержание психологической подготовки можно условно разделить на 3 раздела:

1) профессиональное здоровье, профилактика нарушений профессионального здоровья (стресс, профессиональный стресс, профилактика эмоционального выгорания и т. д.);

2) особенности психического состояния и поведение пострадавших в чрезвычайных ситуациях, профилактика и коррекция неблаго-



приятных состояний пострадавших (оказание психологической помощи пострадавшим в ЧС);

3) обучение элементам психологии управления (конфликтология, психология общения и т. д.).

Наиболее результативным методом подготовки сотрудников является организационно-деятельностная игра, позволяющая определить индивидуальные компетенции участников, степень их подготовленности к профессиональной деятельности, повышение интереса участников к работе, усиление их вовлеченности в решение профессиональных задач. Также данный вид подготовки дает возможность представить наглядно проблему для ее решения и выполнения профессиональных задач, позволяет поэтапно отработать процесс решения задачи и определить стратегию деятельности каждого члена группы сотрудников. Решение такого вида задач способно выявить наиболее активных членов группы, способных принимать решения в ограниченные сроки, являющихся потенциальными лидерами групп [3].

Не менее важное значение в рамках профессиональной подготовки отводится курсу медицинской подготовки. Занятия проводятся специалистами медицинской службы в учебных классах и на учебных площадках, оснащенных наглядными пособиями, тренажерами, муляжами и т. п. с использованием кино и видеоматериалов, диафильмов, слайдов, фотографий и других подобных материалов, а также табельных и подручных средств для оказания **первой помощи**. В начале каждого практического занятия руководитель объясняет и показывает последовательность выполнения приема по оказанию **первой помощи** с использованием табельных и подручных средств, а затем отрабатывает его с учащимися.

Подводя итоги, отметим разносторонние направления профессиональной подготовки личного состава МЧС России по ТО с целью формирования высококвалифицированных специалистов, способных самостоятельно выполнять оперативно-служебные задачи и функциональные обязанности.

### **Список информационных источников**

1. Зеер Э.Ф. Психология профессионального развития. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.
2. Лиховодова Ю.Н. Оценка подготовленности сотрудников экстренных служб к действиям в условиях чрезвычайных ситуаций // V Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015.
3. Смирнов В.Н. Психология управления персоналом в экстремальных условиях. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 256с.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ИСПАРЯЮЩИХСЯ ЧАСТИЦ В ИСПАРИТЕЛЬНОМ РЕАКТОРЕ

*В.И. Марзаева*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Перминов В.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры экологии  
и безопасности жизнедеятельности ТПУ*

Проблема математического описания течения газа и мелких капель с учётом их испарения представляется актуальной, поскольку такие течения часто встречаются в природе и различных технологических приложениях. К числу важных приложений таких течений относится распыление растворов различных кислот в область течения горячего газа с целью получения сухой соли. В данной исследовании рассматривается один из способов выпаривания солей в осесимметричном цилиндрическом испарительном реакторе.

В ходе работы было выполнено исследование течения газа совместно с частицами воды внутри реактора. Для сравнения рассматривались два варианта местоположения отверстия для подачи газа. В первом, когда отверстие находится наверху реактора и направление течения газа параллельно оси, во втором случае отверстие находится сбоку реактора. Форсунка, распыляющая раствор находится на оси реактора.

Для решения задачи определения параметров газа в данной работе использовался метод Годунова. Для описания совместного движения газа и частиц использовался метод псевдоустановления. Испарение частиц рассматривалось в рамках простейшей диффузионной модели Максвелла для единичной сферической частицы. Характеристики движения частиц в реакторе определялись по методу Кроу с учётом обратного влияния.

В итоге была численно решена задача о стационарном осесимметричном движении газа вместе с испаряющимися частицами. Из анализа полученных результатов было установлено, что капли радиусом 40 мкм при подаче газа через боковое отверстие реактора испаряются интенсивнее, чем при верхней подаче газа. Это объясняется тем, что увеличивается время контакта газа с частицами, и таким образом увеличивается тепломассообмен между ними. За время всего процесса массовый расход частицы уменьшился на 70 %, радиус частицы уменьшился на 35 % от первоначального значения. Это говорит о том, что в результате испарения раствора останется практически одно твёрдое вещество и данный способ испарения энергетически оправдан. Такая схема для

выпаривания солей из раствора может сработать. Для окончательного ответа необходимы дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

#### **Список информационных источников**

1. Годунов С.К. Численное моделирование многомерных задач газовой динамики. – М.: Наука, 1976. – 400 с.
2. Crow C.T. The Particle- Source-In Cell (PSI-Cell) Model for Gas-Droplet Flows/ C.T. Crow, M.P. Sharma, D.E. Stock// Journal of fluids engineering. – 1977. – № 6. – С. 325–332.
3. Фукс Н.А. Испарение и рост капель в газообразной среде. – М.: Итоги науки, 1958.

# РАЗРАБОТКА МАКЕТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ USB-SPI ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДМТ-419 НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA8

*А.В. Мерзляков*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Шестаков В.В., ведущий инженер, старший преподаватель кафедры физических методов и приборов контроля качества*

Одним из перспективных направлений развития неразрушающего контроля является исследование параметров электронных компонентов летательных аппаратов после воздействия на них радиационного излучения. Летательные аппараты оснащены широкой электронной базой, состоящей в основном из микропроцессорных систем и микросхем. Современные микросхемы имеют встроенный последовательный периферийный интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface). Для отладки таких устройств необходимо иметь соответствующее оборудование, которое будет формировать интерфейс SPI и создавать произвольный обмен данными с использованием такого типа интерфейса.

Контроль параметров микросхем после их облучения осуществляется с использованием измерительного комплекса ДМТ-419. Принцип действия ДМТ-419 основан на формировании сигналов синусоидальной, произвольной формы, а также логических уровней, которые задаёт пользователь с помощью программного обеспечения управляющей ЭВМ и анализа колебаний, которые прошли через измеряемое устройство, с последующей обработкой сигнала. Основным недостатком представленного комплекса является отсутствие современных последовательных интерфейсов (SPI, I2C, UART). Таким образом основной целью проекта является разработка преобразователя интерфейса USB-SPI для данного измерительного комплекса.

Анализ и сбор теоретических сведений показал, что на сегодняшний день существует множество преобразователей последовательных интерфейсов, однако все они имеют достоинства и недостатки. Основным недостатком является сложное техническое исполнение, отсутствие возможности расширения набора интерфейсов, а также завышенная стоимость на рынке. Учитывая все нюансы имеющихся преобразователей была разработана схема преобразователя USB-SPI.

Данный преобразователь состоит из следующих компонентов:

- преобразователь USB-UART;
- микроконтроллер Atmega8.

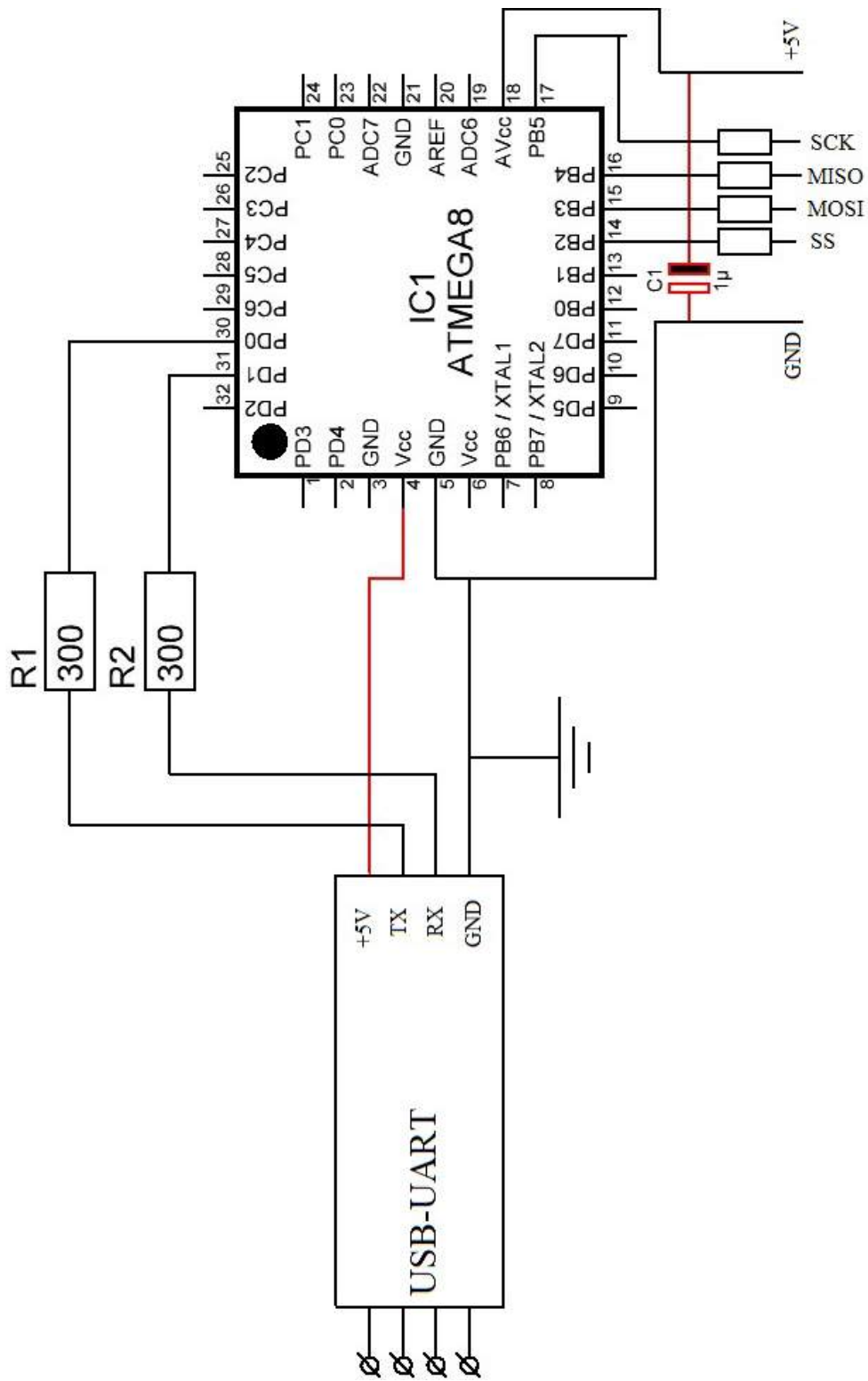


Рис. 1. Принципиальная схема преобразователя USB-SPI

В основе адаптера лежит микроконтроллер ATmega8, разработанный фирмой Atmel. Преимущество данного микроконтроллера состоит в наличии необходимых интерфейсов, а также простота эксплуатации.

Принцип действия построен на преобразовании USB сигнала в UART, а затем из UART в SPI. Преобразователь подключается с одной стороны к интерфейсу USB, а с другой стороны – к тестируемому устройству через интерфейс SPI. С помощью специальной программы можно производить передачу произвольных данных и осуществлять приём данных от устройства для проведения анализа.

Преимущества преобразователя USB-SPI:

- простота в техническом исполнении;
- возможность расширения набора интерфейсов без глобальных изменений устройства;

Таким образом, разработанный преобразователь интерфейса USB-SPI позволяет создать связь между персональным компьютером и микропроцессорными устройствами. Также, в перспективе планируется передача данных на большие расстояния (до 50 метров) путём добавления преобразователя SPI-Ethernet. Это обусловлено необходимостью проводить контроль исследуемого объекта (микросхемы) во время испытаний (облучения) без изменения режима работы (доставка объекта к измерительному комплексу с отключением и последующим подключением

#### **Список информационных источников**

1. Ключев А.О., Ковязина Д.Р., Петров Е.В., Платунов А.Е. Интерфейсы периферийных устройств. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 294 с.
2. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. – СПб, СПбГУ ИТМО, 2002. – 528 с.

# МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ УУКМ ПРИ ПОМОЩИ ДЕТЕКТОРНОЙ МАТРИЦЫ SHADO-O-BOX

*Н.В. Монич*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., ведущий эксперт кафедры  
физических методов и приборов контроля качества*

Среди методов неразрушающего контроля (НК) качества материалов и изделий значительное место занимает радиационный контроль с использованием рентгеновского излучения. Радиационным методам и системам отдают предпочтение при контроле качества сварных и паяных соединений; контроле качества литья, газо- и нефтепроводов; элементов и конструкций автомобильного, железнодорожного и авиационного транспорта; агрегатов химического и энергетического машиностроения.

В последние годы произошли качественные изменения в системах радиационного НК прежде всего благодаря появлению новых детекторов радиационных изображений, а также интенсивному внедрению цифровых технологий получения, обработки и анализа изображений. При использовании таких детекторов рентгеновское излучение, прошедшее через контролируемый объект, с помощью электронных средств преобразуется в электрические сигналы, которые затем оцифровываются, обрабатываются и используются для формирования цифрового изображения контролируемого объекта. Цифровое изображение объекта содержит информацию о его внутренней структуре и может формироваться непосредственно во время просвечивания, т. е. в реальном времени. Такой метод радиационного контроля называют цифровой радиографией.

Отличительной особенностью цифровой радиографии является отсутствие промежуточных носителей информации (радиографических пленок, запоминающих пластин), которые требуют длительных операций экспонирования, обработки и считывания информации. Соответственно отсутствие таких промежуточных носителей позволяет значительно повысить производительность и снизить стоимость радиационного контроля. Цифровое изображение может быть обработано для улучшения снимка, имеется возможность хранения и копирования снимка (в т. ч. передача его в любую точку мира с сохранением его качества без существенных затрат).

Для оптимизации режимов цифровой радиографии для контроля изделий из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) заранее были определены наилучшие четкости изображения просвечиваемого проволочного эталона для рентгеновых лучей, генерируемых

при напряжениях 80, 60 и 40 кВ на рентгеновской трубке рентгеновского аппарата РАП-150МН. На каждом из этих напряжений была произведена калибровка детекторной матрицы и затем в качестве просвечиваемого объекта использовалась пластина из УУКМ толщиной 10 мм.

Практическим путем, изменяя время экспозиции, были получены наилучшие изображения просвечиваемого объекта при напряжениях 80, 60 и 40 кВ на рентгеновской трубке.

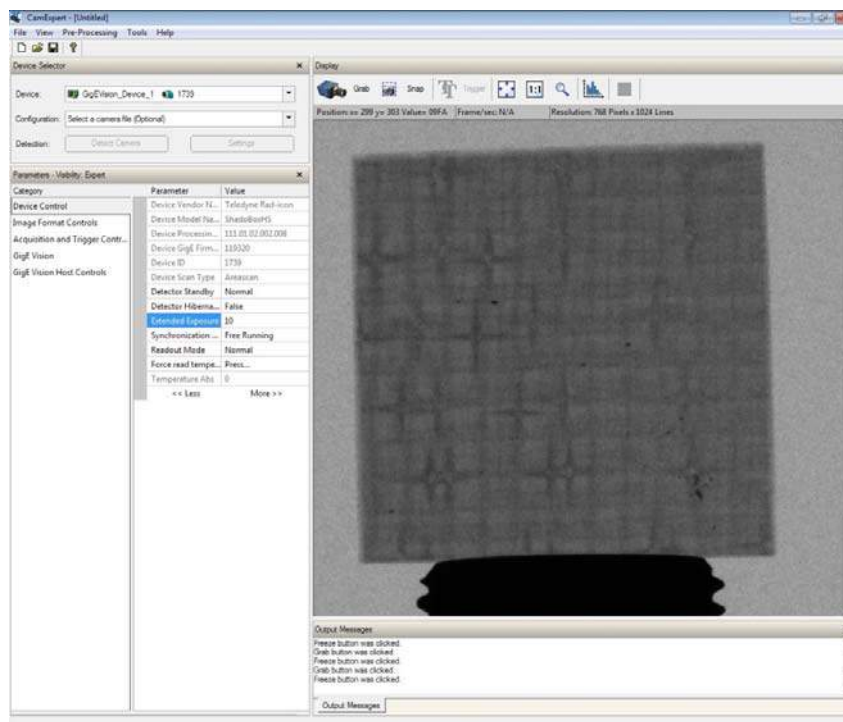
Для получения таких изображений необходимо установить следующие значения (Value) в панели Параметры (Parameters) для детекторной матрицы в вкладке Управление устройством (DeviceControl):

- Detector Standby – Normal;
- Detector Hibernation – False;
- Extended Exposure – 10 / 1000 / 15000;
- Synchronization Mode – Free Running;
- Readout Mode – Normal.

Таблица 2

*Режимы работы рентгеновского аппарата для контроля изделий из УУКМ толщиной 10 мм*

Анодное напряжение $U_a$ , кВ	Анодный ток $I_a$ , мкА	Время экспозиции $t$ , мкс
80	95	10
60	75	1000
40	55	15000



*Рис. 1. Изображение пластины из УУКМ при анодном напряжении 60 кВ, анодном токе 75 мкА, времени экспозиции 1000 мкс*



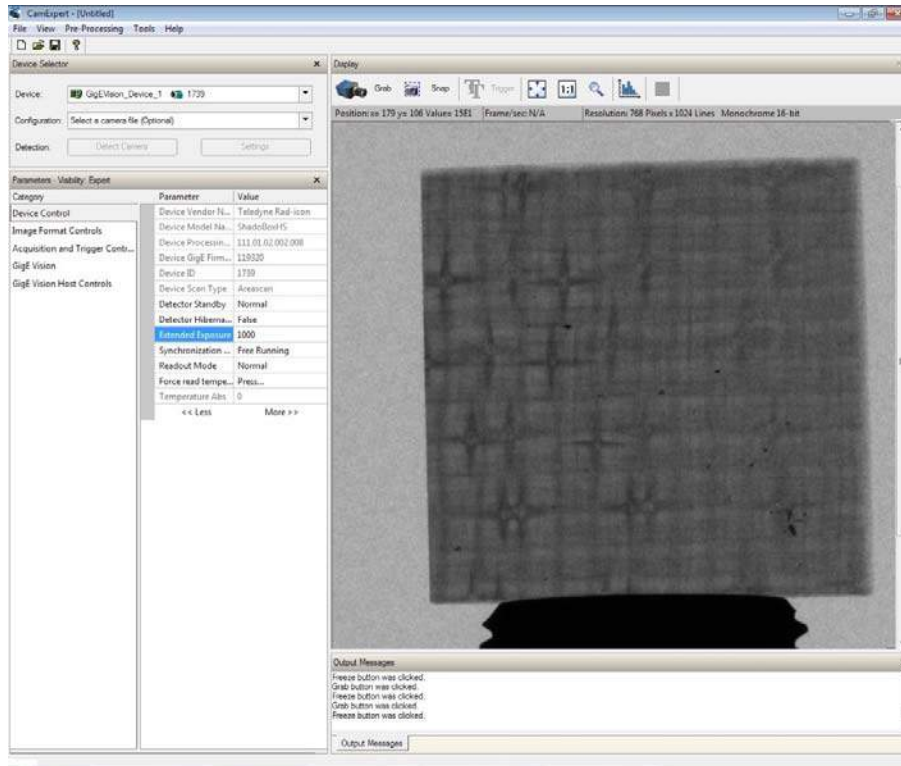


Рис. 2. Изображение пластины из УУКМ при анодном напряжении 80 кВ, анодном токе 95 мкА, времени экспозиции 10 мкс

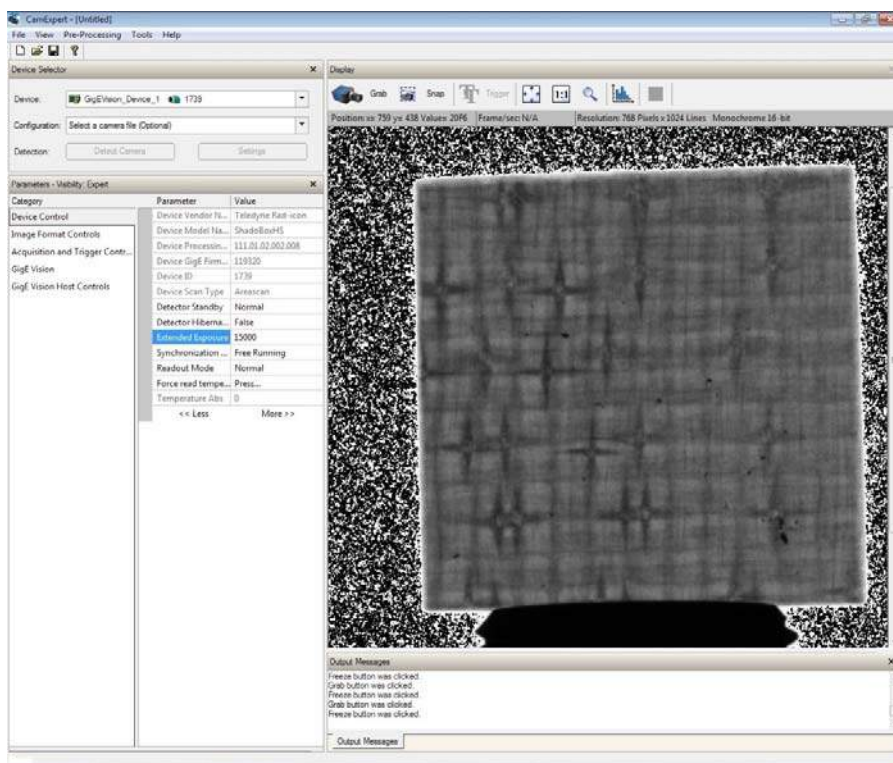



Рис. 3. Изображение пластины из УУКМ при анодном напряжении 40 кВ, анодном токе 55 мкА, времени экспозиции 15000 мкс

## 2.2. Методика работы с детекторной матрицей Shado-o-Box.

1. Включите детектор.

2. После включения детектора программа CamExpert автоматически обнаружит детектор. Это может занять до 30 секунд. Подождите, пока индикатор подключения детектора на панели задач (показан внизу) подтвердит, что соединение было установлено (красный крест на иконке камеры исчезнет) .

*Примечание:* детектор оснащён цветным светодиодом, который используется для отображения статуса детектора. Таблица, приведённая ниже, отображает состояния детектора и соответствующие состояния светодиода.

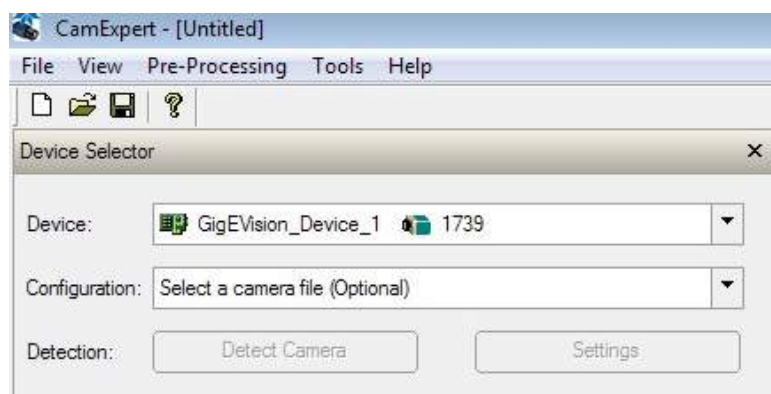
Таблица 3

*Состояния детектора*

Цвет светодиода	Значение
Выключен	Нет питания
Зеленый	Детектор находится в рабочем состоянии
Красный	Питание подключено, спящий режим или режим ожидания

3. Запустите ПО CamExpert.

4. Выберите устройство. Для выбора устройства используйте панель Селектор устройства (DeviceSelector). В выпадающем списке доступных устройств (Device) в левой стороне, выберите идентификатор детекторной матрицы ShadoCam, которым является ее серийный номер 1739.



*Рис. 4. Выбор устройства*

5. Затем на панели Параметры (Parameters) выберите вкладку Управление устройством (DeviceControl) и установите необходимое значение Длительности экспозиции (ExtendedExposure) в микросекундах и другие параметры, как указано ниже. Чтобы изменить значение параметра, нажмите на его поле Значение (Value).

Detector Standby – Normal  
 Detector Hibernation – False  
 Synchronization Mode – Free Running  
 Readout Mode – Normal

Category	Parameter	Value
Device Control	Device Vendor N...	Teledyne Rad-icor
Image Format Controls	Device Model Na...	ShadoCam
Acquisition and Trigger Contr...	Device Processin...	111.01.02.002.008
GigE Vision	Device GigE Firm...	119320
GigE Vision Host Controls	Device ID	1739
	Device Scan Type	Areascan
	Detector Standby	Normal
	Detector Hiberna...	False
	<b>Extended Exposure</b>	<b>1000</b>
	Synchronization ...	Free Running
	Readout Mode	Normal
	Force read tempe...	Press...
	Temperature Abs	0

Рис. 5 Параметры управления устройством

6. Выполните калибровку детекторной матрицы. Для этого необходимо выполнить коррекцию плоского поля. Чтобы открыть диалоговое окно калибровки плоского поля для калибровки детекторной матрицы нажмите Предварительная обработка → Коррекция плоского поля → Калибровка (Pre-Processing → Flat Field Correction → Calibration).

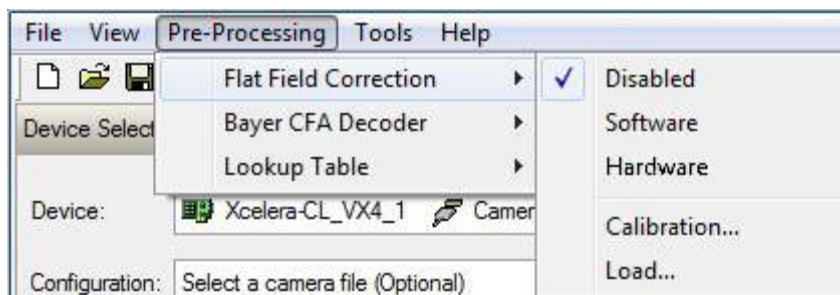


Рис. 6. Коррекция плоского поля

В диалоговом окне Коррекции плоского поля:

- Нажмите на Acquire Dark Image (Расчет темного изображения). Cam Expert произведет захват кадра, проанализирует уровень сигнала каждого пикселя и предоставит статистические данные.

- Нажмите на Acquire Bright Image (Расчет светлого изображения). Cam Expert произведет захват кадра, проанализирует уровень сигнала каждого пикселя и предоставит статистические данные.
- Нажмите кнопку Сохранить (Save), чтобы сохранить текущие настройки калибровки в файл.

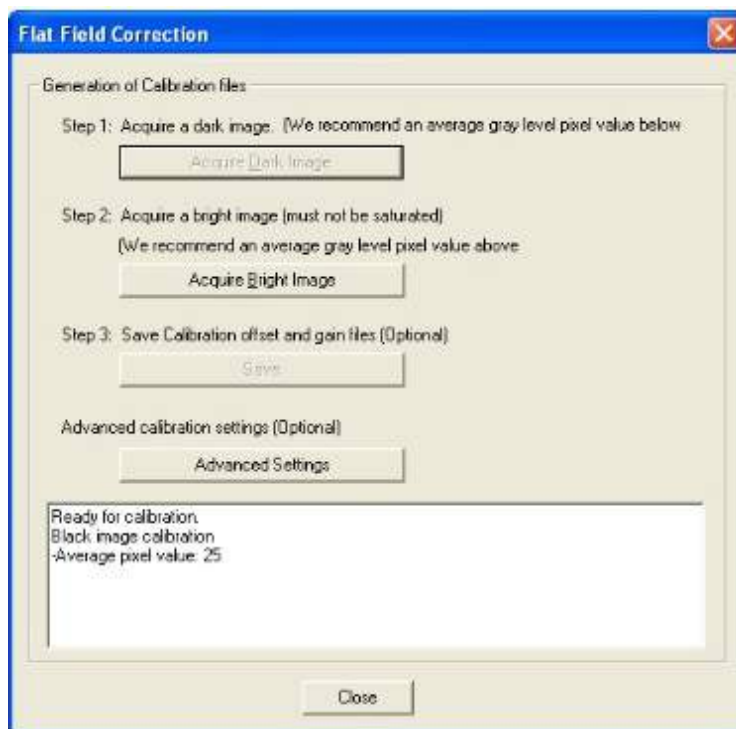





Рис. 7. Диалоговое окно Коррекции плоского поля

- Закройте диалоговое окно Коррекции плоского поля.
- Выполните захват кадра кнопкой Захват (Grab)  Grab в окне дисплей (Display). В нем будет отображено чистое однородное изображение без объекта.

7. Поместите объект, изображение которого хотите создать, между детектором и источником рентгеновского излучения, расстояние может варьироваться в соответствии с размерами объекта, и включите источник.

8. Нажмите на кнопку Захват (Grab)  Grab для начала получения изображений. Когда осуществляется захват, эта кнопка сменяется кнопкой «Заморозить», которая останавливает захват. Чтобы выполнить захват одиночного кадра нажмите кнопку Snap  Snap.

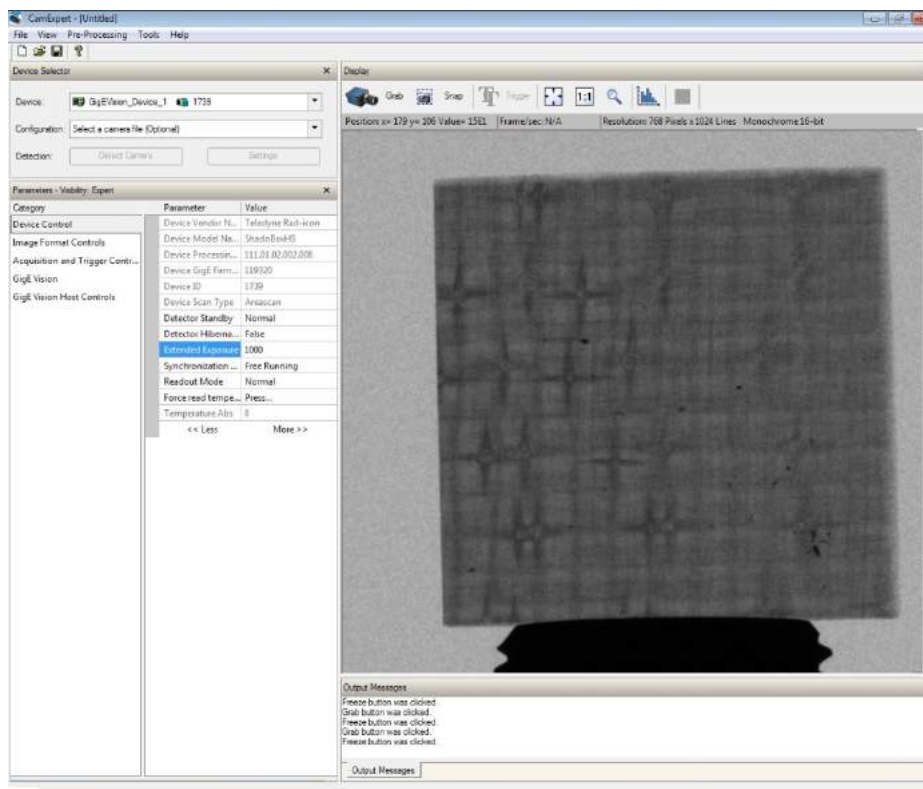


Рис. 8. Полученное изображение объекта

Для дальнейшей обработки и оптимизации изображения используйте функции реализованные в программе CamExpert.

*Примечание:* при смене длительности экспозиции произвести операцию калибровки по п. 6.

Таким образом, применение матричных детекторов в цифровой радиографии позволяет:

- получать высокое качество изображения в реальном времени и высокую скорость обработки информации;
- предоставляет возможность хранения, улучшения, копирования изображений в цифровом виде, в том числе передача их в любую точку мира с сохранением качества;
- позволяет исключить фотолаборатории и химикаты для обработки изображений.

Однако они имеют некоторые ограничения: требуют очень аккуратного обращения и критичны к условиям окружающей среды, поэтому используется пока в лабораторных условиях.

Получение высококачественных изображений требует оптимизации режимов работы матрицы для каждого конкретного случая использования.

Разработанная методика обеспечивает наилучшие условия для цифровой радиографии пластины УУКМ толщиной 10 мм в области энергий рентгеновского излучения от 40 до 80 кэВ.

#### **Список использованных источников**

1. Калентьев В.К., Сидоров Ю.Д., Ли Н.И., Терехов П.В., Хабибуллин А.С., Исхаков О.А. Основы промышленной радиографии. – Казань: Изд-во Казан. Гос. Технол. Ун-та, 2008. – 226 с.
2. Майоров А.А. Компьютерная радиография с использованием флуоресцентных запоминающих пластин – что это такое? / В мире неразруш. контроля. – 2004. – № 3 (25). – С. 42–43.
3. Белый Н.Г., Денбноецкий С.В., Лещин А.В. и др. Относительная чувствительность рентгенотелевизионных систем на основе высокочувствительных ПЗС-камер и рентгеновских монокристаллических экранов / Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2007. – № 2. – С. 34–40.
4. Мирошниченко С.И., Невгасимый А.А. Многосенсорные цифровые рентгеновские приемники. – 2014. – № 2 (Т. 10) – С. 40–48.
5. Майоров А.А. Цифровые технологии в радиационном контроле / В мире неразрушающего контроля. – 2009. – № 3 (45). – С. 5–12.
6. Литвинов А. Высокое качество изображения. Последнее поколение детекторов рентгеновского излучения / Технологии в электронной промышленности. – 2011. – № 6. – С. 10–13.
7. Недавний О.И., Удод В.А. Современное состояние систем цифровой рентгенографии / Дефектоскопия. – 2001. – № 8. – С. 62–82.
8. Троицкий В.А. Флэш-радиография. – 2013. – № 4. – С. 44–50.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОДЫ В СОТОВЫХ ПАНЕЛЯХ САМОЛЕТОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

*А.И. Московченко*

*Томский политехнический университет  
Научный руководитель: Вавилов В.П., д.т.н., профессор,  
зав. лабораторией № 34*

**Введение.** В современной авиационной промышленности широко распространены так называемые сотовые конструкции, которые получили свое название из-за схожести с пчелиными сотами. Они обладают высокой прочностью и малым весом, однако при их эксплуатации возможно накопление воды в ячейках, что способствует увеличению массы и возможному разрушению конструкции при замерзании. Это является серьезной проблемой для обеспечения безопасности полетов. Существуют несколько методов определения воды в ячейках сот, обладающих как преимуществами, так и недостатками. Наиболее распространен ультразвуковой метод, который обеспечивает приемлемую точность, но является трудоемким и контактным. Рентгенографический метод не может применяться в условиях действующих аэропортов по соображениям техники безопасности. Существует также метод инфракрасной (ИК) термографии, основанный на анализе температурных полей на внешних поверхностях самолетов специальными приборами – тепловизорами [1, 2]. Данный метод отличается удобством и высокой производительностью, но не позволяет определить массу скрытой воды [3]. Поэтому в настоящее время он применяется в основном как скрининговый метод. В Томском политехническом университете (ТПУ) разрабатывается метод количественного определения воды в сотовых конструкциях с помощью ИК термографии.

В настоящее время проведено трехмерное математическое моделирование теплового контроля воды в сотах, ведутся экспериментальные исследования на стандартных и реальных образцах авиационных сотовых панелей. Проведено сравнение различных источников тепловой стимуляции и различных вариантов расположения воды внутри ячеек. Выявлено, что вода, контактирующая с панелями обшивки, отчетливо определяется на термограммах. При наличии воздушной прослойки между контролируемой поверхностью и водой, тепловой контроль возможен, но характеризуется значительно меньшими температурными сигналами. В настоящем докладе приведены результаты экспериментов по обнаружению скрытой воды в сотовых панелях при горизонтальном



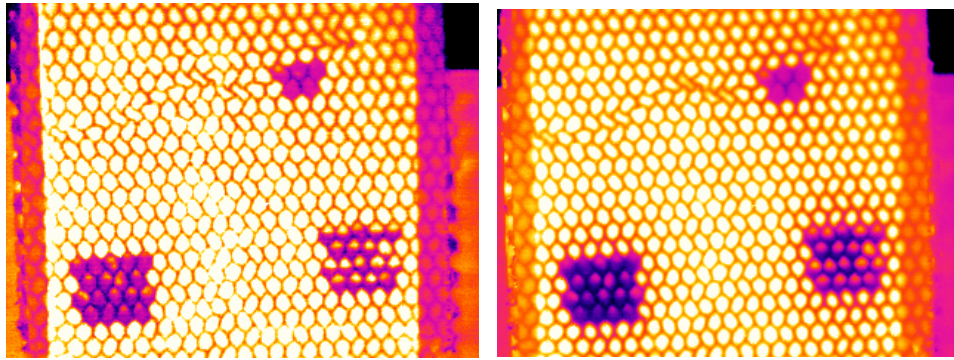
и вертикальном расположении объекта с использованием одностороннего ТК.

**Экспериментальные результаты.** Лабораторные эксперименты выполняли на сотовой панели, состоящей из алюминиевых сот и стеклопластиковой обшивки. В объекте имелись 3 дефектных участка. Первый участок состоит из ячеек, заполненных водой на 70–80 % (то есть при введении воды в сотах оставался некоторый объем воздуха), Ячейки второго участка были заполнены на 50 %. Третий участок был заполнен эпоксидным клеем. Эксперимент проводили при вертикальном и горизонтальном (нагрев сверху) расположении образца. Температуру обшивки регистрировали с помощью инфракрасного тепловизора NecAvioTH-9100 с частотой записи 1 Гц. Для обработки термограмм использовали программу ThermoFitPro (Томский политехнический университет). Источник тепловой стимуляции – 2 галогеновые лампы общей мощностью 2 кВт. Длительность нагрева – 10 секунд.

При вертикальном расположении образца в определенные моменты времени четко отслеживалась форма распределения воды внутри ячеек. В заполненных водой ячейках были видны пузырьки воздуха, причем воздух не всегда располагался в верхней части ячейки, что можно объяснить действием капиллярных сил. В наполовину заполненных ячейках вода всегда располагалась внизу, под действием силы тяжести. Оптимальное время наблюдения составило от 4 до 7 с в процессе нагрева. После окончания нагрева было заметно различие в температуре воздуха в пустых ячейках по сравнению с воздухом, контактирующим с водой. Это говорит о возможности идентификации воды при наличии воздуха между контролируемой поверхностью и водой.

Для исследования возможности обнаружения воды при наличии воздушной прослойки между водой и контролируемой поверхностью был испытан горизонтально расположенный образец. Нагрев и съемку термограмм производили сверху. Как и в предыдущем эксперименте, во время процесса нагрева хорошо идентифицируется поверхность контакта воды с обшивкой. В заполненных водой ячейках были также отчетливо видны пузырьки воздуха. В ячейках с 50%-м заполнением вода обнаруживалась по контуру ячеек, что объясняется капиллярными силами. В данном случае приблизительную количественную оценку воды можно дать по площади температурного отпечатка воды. Ячейки с эпоксидным клеем в данном случае также идентифицируются, отличаясь от ячеек с водой. На рис. 2 изображены термограммы образца при его горизонтальном расположении и контроле сверху.

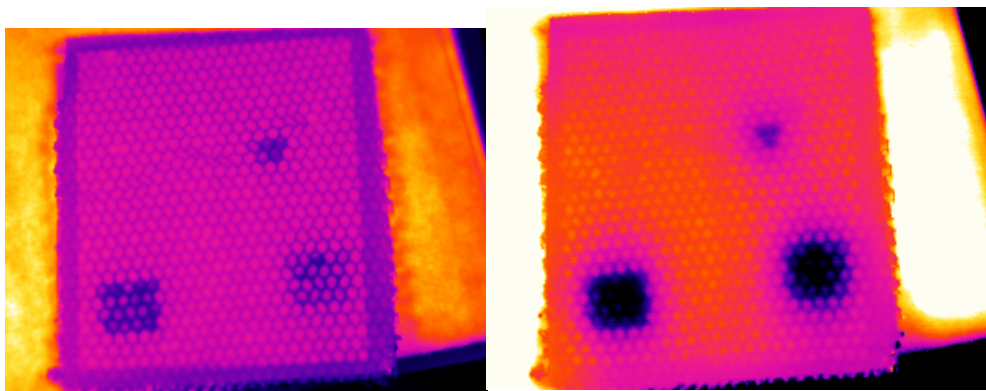




*a*

*б*

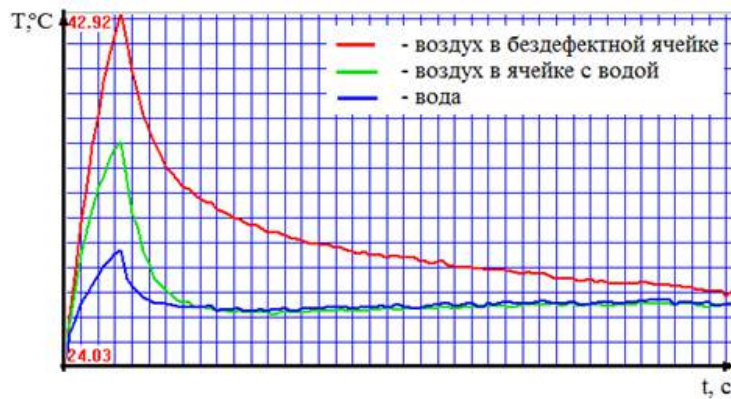
*Рис. 1. Термограммы вертикально расположенного образца: а – 4 с после начала нагрева; б – 2 с после окончания нагрева*



*a*

*б*

*Рис. 2. Термограммы горизонтально расположенного образца: а – во время нагрева; б – через 10 с после нагрева*



*Рис. 3. Графики температурных сигналов в дефектных и бездефектных ячейках*

Из графиков изменения температурных сигналов (рис. 3) видно, что температура на поверхности ячеек, в которых воздух находится

в контакте с водой, в начале нагрева, блтзка к температуре бездефектной зоны, но в дальнейшем ее величина стремится к температуре поверхности, контактирующей с водой. Через 10 секунд после окончания нагрева температура в частично заполненных водой ячейках выравнивается.

**Заключение.** Проведенные ранее исследования показали эффективность пассивного теплового контроля для скринингового обнаружения воды в эксплуатируемых самолетах, с оценкой массы ультразвуковым методом. Исследования последнего времени направлены на приближенную количественную оценку воды исключительно по инфракрасным термограммам. В настоящем докладе проведено исследование влияния воздуха в ячейках с водой на возможность обнаружения воды и ее количественной оценки. Показано, что при вертикальном расположении панелей возможна оценка количества воды по площади дефектной зоны, находящейся в контакте с водой. Данная площадь лучше всего идентифицируется в начале процесса тепловой стимуляции (для выбранного источника нагрева – с 4 по 7 секунду после начала нагрева). При горизонтальном расположении объекта контроля также возможна идентификация воды, в том числе и не контактирующей с поверхностью. Однако количественная оценка в данном случае затруднительна. Также установлено, что воздух, находящийся в контакте с водой, отличается от воздуха в сухих ячейках, что не было учтено при проведении трехмерного математического моделирования. Отсюда следует необходимость исследования теплофизических свойств воздуха, находящегося внутри ячеек, для проведения более корректного моделирования. Проблема калибровки термографических данных по массе скрытой воды остается открытой и требует дальнейших исследований.

#### **Список информационных источников**

1. Vavilov V., Klimov A., Nesteruk D. Detecting water in aviation honeycomb structures by using transient IR thermographic // NDT.Proc SPIE «Thermosense-XXV». – 2003. – Vol. 5073. – pp. 345–354.
2. Vavilov V.P., Nesteruk D.A.. Detecting water in aviation honeycomb structures: the quantitative approach // Quant. Infra Red Thermography J. – 2004. – Vol. 1, №2. – pp.173–184.
3. A318/A319/A320/A321 Nondestructive Testing Manual, Part 10 A, 55-20-06-Thermographic, Page block 1001.

## ГОРНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА КАК ИСТОЧНИК ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

*М.А. Мурзин*

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск*

*Научный руководитель: Тимофеева С.С., д.т.н., профессор кафедры  
промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности*

Для горнодобывающей промышленности характерно интенсивное воздействие на окружающую природную среду, неизбежно вызывающее ее изменение. В процессе производства нарушаются полностью или частично сложившиеся экологическое состояние в зонах размещения промышленных объектов (шахт, рудников, обогатительных фабрик).

В процессе горного производства образуются и быстро увеличиваются пространства, нарушенные горными выработками, отвалами пород и отходов переработки и представляющие собой бесплодные поверхности, отрицательное влияние которых распространяется на окружающие территории.

В связи с осушением месторождений и сбросом дренажных и сточных вод (отходов переработки полезных ископаемых) в поверхностные водоёмы и водотоки резко изменяются гидрогеологические и гидрологические условия в районе месторождения, ухудшается качество подземных и поверхностных вод. Атмосфера загрязняется пылегазовыми организованными и неорганизованными выбросами и выделениями различных источников. В результате комплексного воздействия на указанные элементы окружающей среды существенно ухудшаются условия произрастания растений, обитания животных, жизни человека. Недра, являясь объектом и операционным базисом горного производства, подвергаются наибольшему воздействию.

Главным фактором преобразования окружающей среды являются техногенные процессы, возникающие при эксплуатации различных объектов горного производства.

Минерально-сырьевая база Иркутской области включает месторождения 56 видов полезных ископаемых, среди которых представлены крупнейшие в России объекты нефти и газа, золота, редких металлов, поваренных и калийных солей, слюды, талька, промышленных литий-бромных вод и др. Объем разведанных запасов минерального сырья является существенной составной частью общероссийской минерально-сырьевой базы [1].

Но помимо крупных запасов различных полезных ископаемых Иркутская область входит в состав регионов, объединенных принадлежностью к бассейну озера Байкал – феномену мирового значения. Тем не менее, хозяйственная деятельность на берегах Байкала продолжается.

В настоящее время в Иркутской области функционирует около 200 горнодобывающих предприятий. На территории региона добыча основного объема горной массы ведется открытым способом, для предприятий характерны технологические процессы, включающие вскрышные, буровзрывные, добычные работы, транспортировку горной массы. Эти технологические процессы и являются источниками экологических рисков в регионе.

Из 200 горнодобывающих предприятий Байкальского региона в качестве объектов исследования нами выбрано 8 наиболее крупных предприятий добывающих различные виды рудных и нерудных полезных ископаемых (табл. 1) открытым (7 предприятий) и подземным способами. Число предприятий, добывающих сырье на территории региона, ежегодно увеличивается. Так например в 2015 году Роснедра и Иркутскнедра на территории Иркутской области выдали 144 лицензии на пользование недрами. Следовательно, с увеличением количества недропользователей, естественно, увеличится и экологическая нагрузка [2].

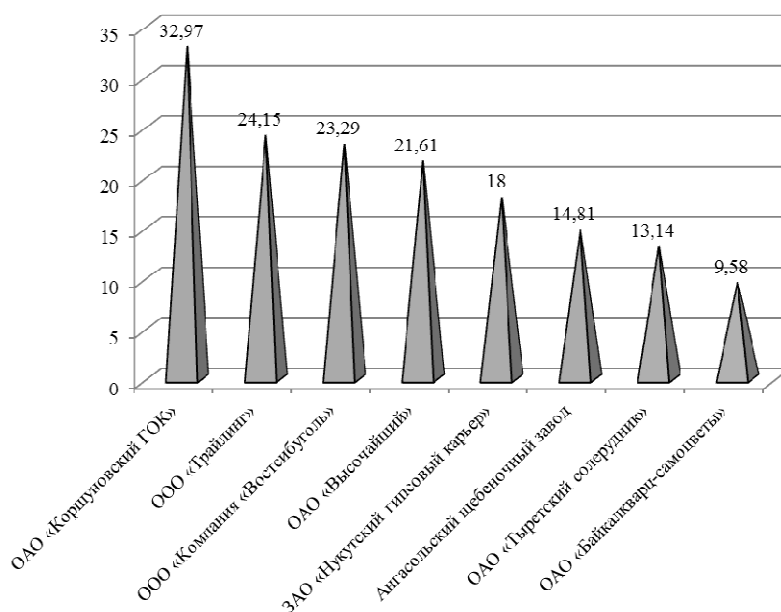
Таблица 1

*Горнодобывающие предприятия Иркутской области*

<b>Наименование предприятия</b>	<b>Добываемое сырье</b>	<b>Технология добычи ископаемого</b>	<b>Производственная мощность, тыс. т/год</b>	<b>Площадь нарушенных земель, га</b>
ОАО «Коршунковский ГОК»	железная руда	открытый с БВР	6430	378
ООО «Компания «Востсибуголь»	бурый уголь	открытый с БВР	2900	2111
ООО «Трайлинг»	каменный уголь	открытый с БВР	1500	78,4
ОАО «Высочайший»	золотоносная руда	открытый с БВР	1500	400
ЗАО «Нукутский гипсовый карьер»	гипс	открытый с БВР	1000	400
Ангасольский щебеночный завод	гранит	открытый с БВР	723	31
ОАО «Байкал-кварцсамоцветы»	офикальцит	открытый без БВР	12,5	15
ОАО «Тыретский солерудник»	соль	подземный	600	250

В настоящей работе сравнительную оценку экологических рисков предприятий региона проводили по ряду показателей исходя из статистических данных по контролю за деятельностью предприятия с использованием индекса загрязнения атмосферы, произведено моделирование зон загрязнения, создаваемых исследуемыми объектами, и просчитан эколого-экономический ущерб.

На основе данных по результатам производственного контроля и проектов нормативов предельно-допустимых выбросов нами выполнен расчет значений показателя ИЗА для исследуемых предприятий. Для предприятий выбирали одинаковые по химической природе экстрессоры, а именно оксиды азота, серы, углерода, неорганическая силикатная пыль, аэрозоли, выбрасываемые при сварочных работах, углеводороды. На рис. 1 приведено ранжирование исследуемых предприятий по индексу загрязнения атмосферы [3]. Как видно из приведенных данных, наибольший индекс загрязнения атмосферы наблюдается в районе действия ОАО «Коршуновский ГОК». Это предприятие вносит наибольший вклад в загрязнение атмосферы оксидами углерода, азота и силикатной пыли.



*Рис. 1. Ранжирование горных предприятий по индексу загрязнения атмосферы*

Для снижения экологических рисков на предприятии ОАО «Коршуновский ГОК» предлагается предусмотреть следующее:

- организовать проведение мониторинга за состоянием окружающей среды, для оценки состояния окружающей среды и выявления ее негативных изменений;

- организовать рекультивацию земель, нарушенных горными работами, в соответствии с лицензионными условиями, по завершении отработанных запасов;
- предусмотреть организацию складирования вскрышных и вмещающих пород в отвалы, для дальнейшей эффективной рекультивации земель;
- организовать орошение горной массы, дорог и взрываемого блока водой для снижения пыления горной массы;– использовать в качестве ВМ простейших и эмульсионных составов с нулевым или близким к нему кислородным балансом для снижения выбросов пыли и токсичных газов при производстве взрывных работ;
- произвести установку пылеулавливающих систем на буровые установки при бурении скважин под массовые взрывы, с целью снижения запыленности при буровых работах;
- разработать и внедрить систему управления экологическими рисками, которая обеспечит последовательное улучшение состояния экологической ситуации в зоне производственной деятельности предприятия и снижение экологических рисков.

При реализации предложенных мер, рассмотренных в данной работе, экологический риск горных предприятий может быть снижен до допустимых значений, что снизит вероятность убытков или дополнительных издержек.

### **Список информационных источников**

1. Закон Иркутской области от 31 декабря 2010 г. N 143-ОЗ «Программа социально-экономического развития Иркутской области на 2011–2015 годы».
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области за 2015 год. – Иркутск: ООО Форвард, 2016. – 400 с.
3. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы – Введ. 01.07.1991. – М.: Госкомгидромет, 2009. – 695 с.

# ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАЗОРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ГЛУБИНЫ ДЕФЕКТА ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ

*Мэн Цинъян*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор кафедры  
физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

Вихретоковый дефектоскоп предназначен для обнаружения поверхностных трещин в изделиях из ферромагнитных и немагнитных металлов и сплавов. Дефектоскоп позволяет измерить геометрические параметры дефектов, что даёт возможность оценки степени опасности (глубины) дефекта. Основными особенностями вихретоковых дефектоскопов являются: проведение контроля деталей с необработанной поверхностью, возможность контроля деталей при наличии защитных диэлектрических покрытий, четкая идентификация проблемного участка и глубины дефекта. Область применения вихретоковых дефектоскопов: контроль трубопроводов, промышленных сосудов высокого давления, различных строительных конструкций с произвольной ориентацией дефектов [1].

Достоинства:

- относительно высокая скорость контроля
- высокая точность

Недостатки:

- ограниченный диапазон материалов исследуемых тел
- высокая стоимость

Дефектоскоп вихретоковый ВДЗ-71 относится к средствам контроля и оценки дефектов и предназначен для ручного контроля вихретоковым методом на наличие поверхностных и подповерхностных дефектов типа нарушения сплошности материала (трещины, закаты, раковины, волосовины и др.).

Если рядом с объектом из ферромагнитного материала создать переменное магнитное поле, внутри материала объекта индуцируются вихревые токи (токи Фуко). Вихревые токи, в свою очередь также создают магнитное поле, противодействующее внешнему магнитному воздействию (рис. 2). Параметры вторичного магнитного поля измеряются измерительной обмоткой. Если внутри материала объекта имеются дефекты (трещины, полости, прочие дефекты), это повлияет на конфигурацию вихревых токов и, следовательно, на параметры создаваемого

ими магнитного поля. Фиксируя эти изменения, можно получить информацию о внутренних дефектах объекта [2].

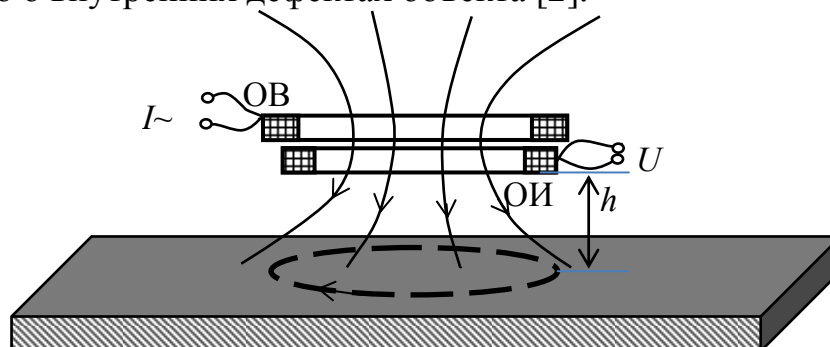


Рис. 2. Возбуждение вихревых токов и измерение их параметров

Было проведено исследование зависимости амплитуды выходного сигнала дефектоскопа от зазора при глубине дефекта 0,5 мм с использованием датчика ПН-09-МДФ01. Объект контроля: стальная труба диаметром 87 мм.

По графику (рис. 3) можно сделать вывод, что при увеличении зазора, значительно уменьшается амплитуда выходного сигнала.

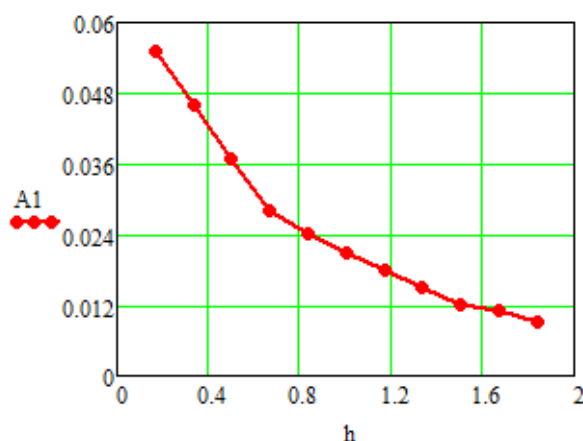


Рис. 3. Зависимость амплитуды выходного сигнала от изменения зазора (A1 – выходной сигнал, B; h – зазор, мм).

С помощью программы Origin была найдена аналитическая зависимость амплитуды выходного сигнала от зазора (рис. 4):

$$U_{g1} = 0.06431 \cdot \exp(-h / 0.71633) + 0.00454,$$

где  $U_{g1}$  – амплитуда выходного сигнала при глубине дефекты 0,5 мм.

С помощью полученного графика можно увидеть наличие погрешности измерения.

Для исключения влияния зазора на выходной величину, необходимо измерять зазор. Это можно осуществить с использованием вихретокового датчика BAW M18MG-UAC80F-S04G.



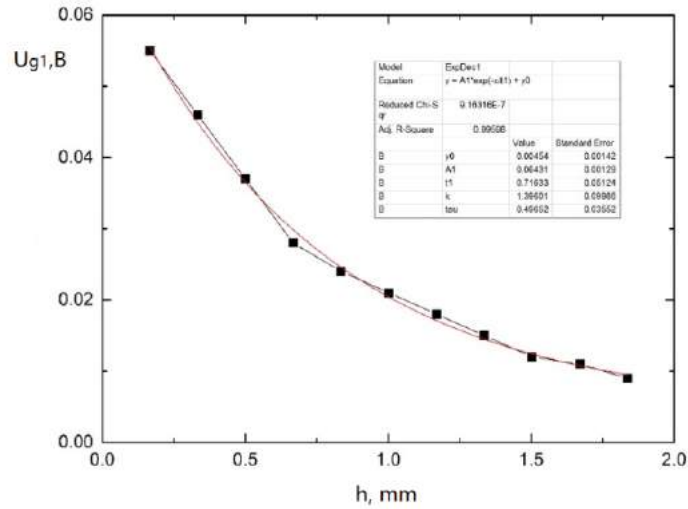


Рис. 4. Зависимость амплитуды выходного сигнала от зазора в программе Origin

На рис. 5 представлена схема подключения вихретокового датчика. В качестве источника питания использовался блок питания INSTEK GPS-18500 (БП). Выходное напряжение измерялось мультиметром (на схеме обозначено М).

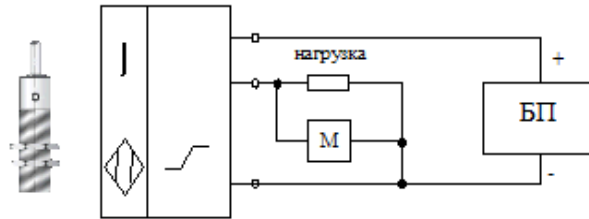


Рис. 5. Экспериментальная схема подключения вихретоковых преобразователей

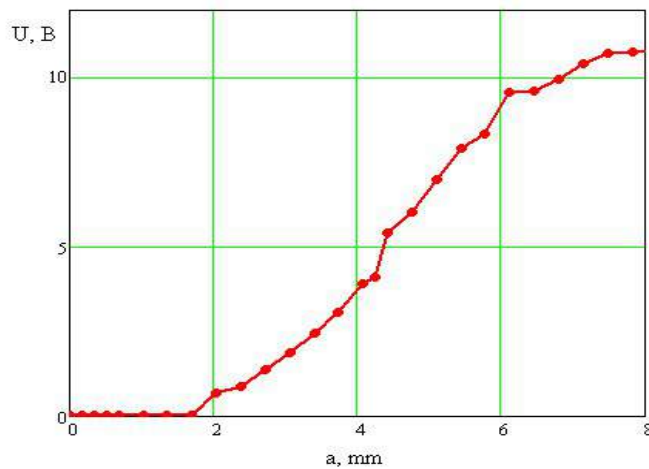


Рис. 6. Зависимость выходного сигнала от зазора

На рисунке показана зависимость выходного сигнала от зазора. Диапазон измерения составляет от 2 мм до 6 мм.

С помощью программы Origin была построена аналитическая зависимость выходного сигнала  $U$  от зазора  $a$  (рис. 7):

$$U=3.44128-3.7729*a+1.29794*a^2-0.08932*a^3 \quad 0 < a < 6.8$$

$$U=9.7172 \quad a > 6.8$$

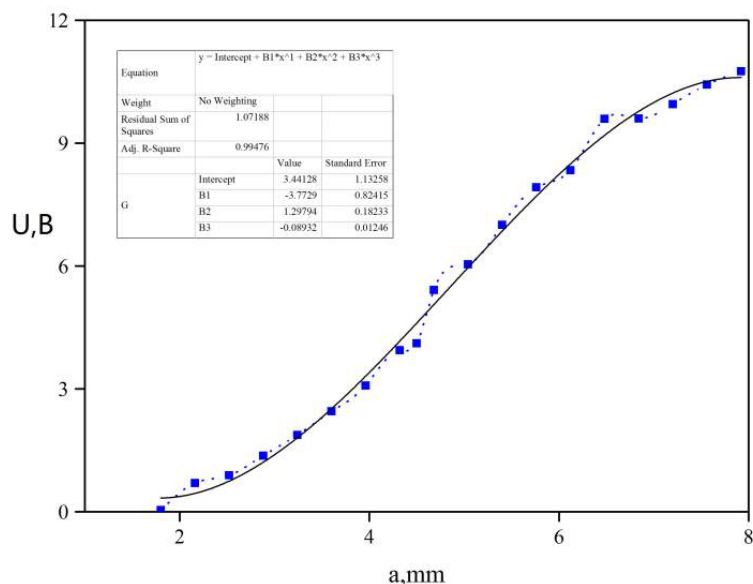


Рис. 7. Зависимость амплитуды выходного сигнала от зазора в программе Origin

Из рис. 7 была найдена погрешность преобразования зазора, которая составляет 0.1 мм.

Таким образом показано, что выходной сигнал дефектоскопа зависит от зазора. Для устранения данного недостатка было предложено измерять зазор с помощью вихретокового датчика. Были проведены измерения вихретоковым датчиком ВАWM18MG-UAC80F-S04G, по результатам которых получена зависимость выходного сигнала от зазора.

### Список информационных источников

1. Вихретоковая дефектоскопия // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polyinform.ru/1746-vihretokovaya-defektoskopiya.html>, 22.09.2016.
2. Дефектоскопы: ультразвуковой, вихретоковый // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/defektoskop> 22.09.2016.

# КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТОВ КОЛЕС В ДВИЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИИ

*А.И. Никитина*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Гальцева О.В., к.т.н., доцент кафедры физических  
методов и приборов контроля качества ТПУ*

Железнодорожный (ЖД) транспорт играет, бесспорно, важную роль в развитии экономики нашей страны. Для бесперебойного функционирования ЖД транспорта необходимы мероприятия по обеспечению безопасности движения. Одним из основных факторов, обеспечивающих безопасное движение, является состояние инфраструктуры и подвижного состава [1].

Современные методы контроля и диагностики позволяют в режиме реального времени выявить дефекты поверхности катания колес грузовых вагонов.

На результат измерения влияют параметры конструкции железнодорожного пути. К ним относят

- ширину колеи и уровень возвышения одного рельса над другим;
- боковой и вертикальный износ рельса;
- проседание рельсошпальной решетки [2].

Для исследования параметров пути применяют различные методы диагностики, одним из которых является тензометрический метод контроля с помощью тензосистемы «Динамика 1». Этот метод основан на регистрации упругих деформаций рельсов.

Исследования проводились вблизи станции «Барышево» в городе Новосибирск на отрезке действующего железнодорожного пути.

На измерительном участке были произведены замеры вертикального и бокового износа при помощи путейского штангенциркуля (рис. 1).

Данные измерений зафиксированы (табл. 1), они показывают, что результаты измерения изменялись не более, чем на 6 мм. Данные, представленные в табл. 2, являются результатом измерения вертикального износа, разброс значений которого не превышает 4 мм. Эти параметры пути не оказывают влияния на сигналы от тензометрической системы.

Данные, представленные в табл. 2, являются результатом измерения вертикального износа, разброс значений которого не превышает 4 мм. Эти параметры пути не оказывают влияния на сигналы от тензометрической системы.

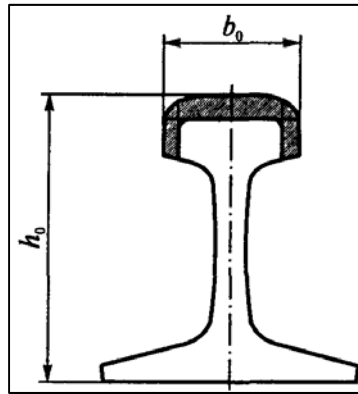


Рис. 1. Схематическое изображение бокового  $b_0$  и вертикального износа  $h_0$

Таблица 1

*Боковой износ рельсов*

Номер шпалы	Правый рельс, мм	Левый рельс, мм
1	74,3	74,1
2	74,3	73,9
3	74,4	74,0
4	74,3	74,3
5	74,2	74,5
6	74,3	74,3

Эти данные соответствует первой степени оценки пути согласно инструкции ЦП-774 (Инструкция то текущему содержанию пути) [3].

Таблица 2

*Вертикальный износ рельсов*

Номер шпалы	Правый рельс, мм	Левый рельс, мм
1	176,6	176,3
2	176,7	176,5
3	176,3	176,7
4	176,5	176,5
5	176,3	176,4
6	176,4	176,4

Для анализа данных с тензосистемы «Динамика 1» использовали программу обработки результатов контроля колес в движении. Программа по определенному алгоритму раскладывает сигнал на две составляющие: низкочастотную составляющую, связанную с общим прогибом рельсошпальной решетки от наезжающего колеса и высокоамплитудную составляющую, обусловленную деформацией шейки рельс от воздействия колеса.

В данной работе была оценена доля низкочастотной составляющей в общий сигнал по выборке из 40 колес, которая составила от 12 до 27 %. Проведена оценка геометрических параметров пути: боковой и вертикальный износ, ширины колеи, возвышения одного рельса над другим. Показано, что эти параметры находятся в полях допуска и не оказывают воздействия на сигналы тензосистемы.

#### **Список информационных источников**

1. Баранов П.А. Эксплуатация и ремонт паровых и водогрейных котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 264 с.
2. SIMATIC Компоненты для комплексной автоматизации: Каталог. – А.: SIEMENS, 2011. – 172 с.
3. Мухин В.С., Саков И.А. Приборы контроля и средства автоматизации тепловых процессов. – М.: Энергия 2002. – 148с.

# КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ НАГНЕТАНИЯ СКВАЖИНЫ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

*И.Г. Однокопылов, М.С. Карпов*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Однокопылов И.Г., к.т.н., доцент кафедры  
электропривода и электрооборудования ТПУ*

Разработка нефтяных и газовых месторождений базируется на современных научных технологиях, которые основаны на детальном изучении свойств продуктивных пластов и содержащихся в них газов и жидкостей, а также изучении происходящих процессов в пластах при их эксплуатации. Исследование месторождений начинается с момента их открытия и продолжается до полной выработки извлекаемых запасов нефти и газа.

Информация, получаемая при исследовании, используется для контроля, проектирования и регулирования систем разработки месторождений, что обеспечивает темпы и степень выработки запасов при минимальных затратах. Одним из важнейших источников информации являются гидродинамические (промысловые) исследования пластов и скважин. Результаты, полученные при гидродинамических исследованиях позволяют выбирать технологии интенсификации притока газа и осуществлять выбор оптимального режима работы технологического оборудования на периоды освоения и эксплуатации скважины [1].

Гидродинамические исследования реализуются нагнетанием жидкости в пласт на протяжении определенного периода времени и регистрацией устьевого и забойного давления [2]. Интерпретация данных полученных при проведении гидродинамических исследований позволяет оценить продуктивные и фильтрационные характеристики пластов и скважин. Качество результатов интерпретации напрямую зависит от точности соблюдения технологии проведения гидродинамических исследований [3].

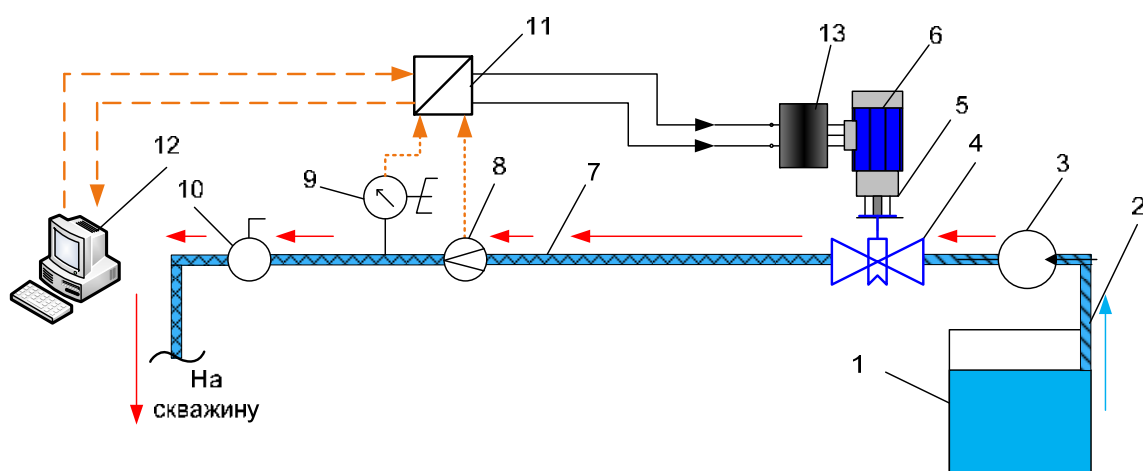
В период закачки при создании возмущения в прискважинной зоне необходимо проводить непрерывный мониторинг устьевого и забойного давления и поддерживать постоянный расход жидкости [4].

В настоящее время существующие способы нагнетания жидкости в скважину при проведении гидродинамических исследований предполагают участие оператора, который в течение длительного времени должен поддерживать заданный расход и давление в скважине. Для автоматизации процесса нагнетания были разработаны схемы с использо-

ванием мехатронных узлов, которые позволяют с высокой точностью автоматизировать процесс нагнетания.

Одним из простых решений автоматизации гидродинамических исследований скважин является использование регулируемого насоса высокого давления, способного удерживать малый расход при высоком давлении с высокой точностью. Данная задача трудновыполнима и такой вариант в данной работе не рассматривался.

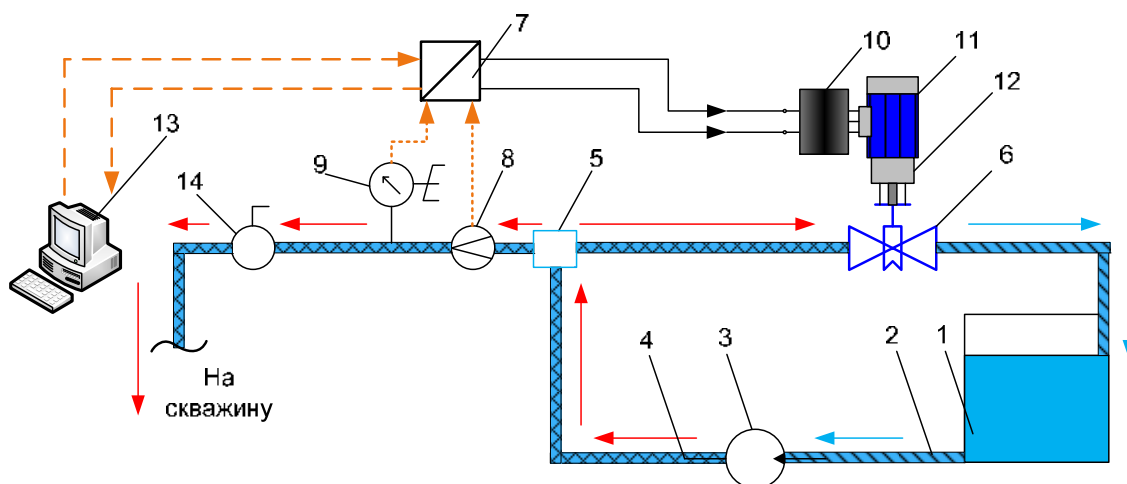
Расходом жидкости легче управлять с помощью регулировочного дросселя. На рис. 1 представлена схема автоматизации гидродинамических исследований скважин методом нагнетания жидкости с использованием проходного регулировочного клапана.



*Рис. 1. Функциональная схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин с использованием проходного регулировочного клапана*

Схема работает следующим образом. Из емкости 1 по трубопроводу низкого давления 2 жидкость подводится к нерегулируемому насосу высокого давления 3, далее по трубопроводу высокого давления жидкость подводится через регулировочный клапан 4, который регулирует количество жидкости поступающей в скважину. Регулировочный клапан приводится в движение через редуктор 5 асинхронным двигателем 6. Далее по трубопроводу 7 жидкость направляется через расходомер 8 в скважину. Данные с расходомера 8 и датчика давления 9 обрабатываются программируемым логическим контроллером 11, в котором формируется задание для преобразователя частоты 13. Для визуального отображения информации в реальном времени, используется персональный компьютер 12. После достижения в скважине необходимого давления, нагнетательный трубопровод закрывается при помощи шарового крана 10.

На рис. 2. представлена схема автоматизации гидродинамических исследований скважин методом нагнетания с использованием проходного регулировочного клапана установленного в сбросной магистрали. Из емкости 1 по трубопроводу низкого давления 2 жидкость подводится к нерегулируемому насосу высокого давления 3, далее по трубопроводу высокого давления 4 жидкость подводится к тройнику 5, разделяющему жидкость на два потока рабочий и сбросной. Рабочий поток после тройника направляется через расходомер в скважину. Так как производительность нерегулируемого насоса больше требуемого расхода нагнетания жидкости в скважину, то часть жидкости направляется по обратному трубопроводу через проходной регулировочный клапан 6 в емкость 1. Таким образом, изменяя количество сбрасываемой жидкости, можно поддерживать расход нагнетания жидкости в скважину на определенном уровне.



*Рис. 2. Функциональная схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин с использованием проходного регулировочного клапана в сбросной магистрали*

Контроль расхода нагнетания жидкости поступающей в скважину, обеспечивает программированный логический контроллер 7, основываясь на данных получаемых с расходомера 8 и датчика давления 9. Сигналы снимаются, обрабатываются, и формируется задание на преобразователь частоты 10, который в свою очередь управляет асинхронным двигателем 11. Далее двигатель через понижающий редуктор 12 поворачивает шток регулировочного клапана 6, тем самым изменяя количество проходящей жидкости. Для визуального отображения информации в реальном времени, используется персональный компьютер 13. После достижения в скважине необходимого давления снимаемого электрон-



ным манометром 9, нагнетательный трубопровод закрывается при помощи шарового крана 14.

Проанализировав оба варианта, можно сделать вывод, что схема, представленная на рис. 2, обладает рядом недостатков, таких как высокая стоимость и низкий КПД системы. Это обусловлено тем, что большая часть жидкости, подаваемая насосом 3, сбрасывается обратно в емкость 1. Однако, приведенная схема позволяет с высокой точностью производить процесс нагнетания, а электро- и гидрооборудование, необходимое для реализации является доступным.

В работе в среде Matlab была разработана имитационная модель нагнетания жидкости в скважину. В модели использовались библиотеки SimPowerSystems для моделирования регулируемого электропривода [5], и SimHydraulics, которая позволяет решать задачи статики, кинематики и динамики различных гидравлических систем.

Проведен анализ графиков давления при различных вариантах установки проходного регулировочного клапана, можно сказать, что регулирование расхода при реализации первого варианта характеризуется повышенным давлением в нагнетающей магистрали. Этот факт, безусловно, создаёт нагрузку на насос и элементы гидравлической системы, что уменьшит срок эксплуатации оборудования.

Метод нагнетания жидкости в угольный пласт хорошо себя зарекомендовал. Данный способ позволяет наиболее достоверно определять проницаемость и фильтрационные параметры пластов в течение небольшого времени и невысоких затрат на исследования.

По опыту интерпретации данных гидродинамических исследований, наиболее успешными признаются те испытания, при которых в период закачки расход жидкости поддерживается постоянным в течении всего теста.

Анализ предложенных схем автоматизации гидродинамических исследований показал, что наиболее простым и эффективным является использование проходного регулировочного клапана, что позволит с достаточной точностью управлять величиной расхода при проведении испытаний.

### **Список информационных источников**

1. Saulsberry J.L., Schafer P.S., Schraufnager R.A. A Guide to Coalbed Methane Reservoir Engineering // Gas Research Institute Report GRI-94/0397 – Chicago, Illinois, 1996. – P. 342.
2. Hopkins C.W., Frantz J.H., Flumerfelt R.W., Spivey J.P. Pitfalls of Injection/Falloff Testing in Coalbed Methane Reservoirs // Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, Texas, 1998. – P. 16.

3. TacoG., KamenarA., EdgooseJ. Comparison of Permeabilities and Skin Damages Results from Flow Build-up and Injection Falloff Tests in CBM Reservoirs // Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Australia, 2010. – P. 6.
4. Однокопылов И.Г., Гнеушев В.В., Филиппов А.С. Исследование динамических нагрузок электропривода подъема каротажной лебедки // Фундаментальные исследования: научный журнал. – 2015. – № 2, ч. 7. – [С. 1392–1396].
5. Odnokopylov I. G. [et al.] Load balancing of two-motor asynchronous electric drive [Electronic resources] // Control and Communications (SIBCON) : International Siberian Conference on Russia, Omsk, 2015. – [4 p.].

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МИКРОФЛЮИДНОГО УСТРОЙСТВА

*Н.Б. Павлик*

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень  
Научный руководитель: Глушкова Е.Г., к.б.н., доцент*

Одним из процессов, активно изучаемых в последнее время, является локальная регуляция сосудистого тонуса. В этом процессе значительную роль отводят пуринергической системе, в состав которой входят такие биологически активные молекулы, как АТФ и АДФ. Современные медико-биологические исследования происходят на клеточном и молекулярном уровне организации живых организмов. При этом, очень часто исследователи выходят за рамки существующих лабораторных аппаратно-программных комплексов, так как уровень стоящих перед ними задач отличается высокой степенью специализации. Очень часто возникает ситуация, когда для изучения какого-либо процесса, протекающего в живом организме, создается адекватная лабораторная модель по уже изученным параметрам процесса. В ходе изучения явлений, протекающих в созданной модели, исследователь открывает закономерности процессов, проходящих в живом организме. Достоверность полученных при этом результатов будет зависеть от правильности созданной модели. Целью настоящей работы являлось разработка модели микрофлюидного устройства (МФУ) для оценки функции эритроцитарного звена пуринергической системы регуляции сосудистого тонуса.

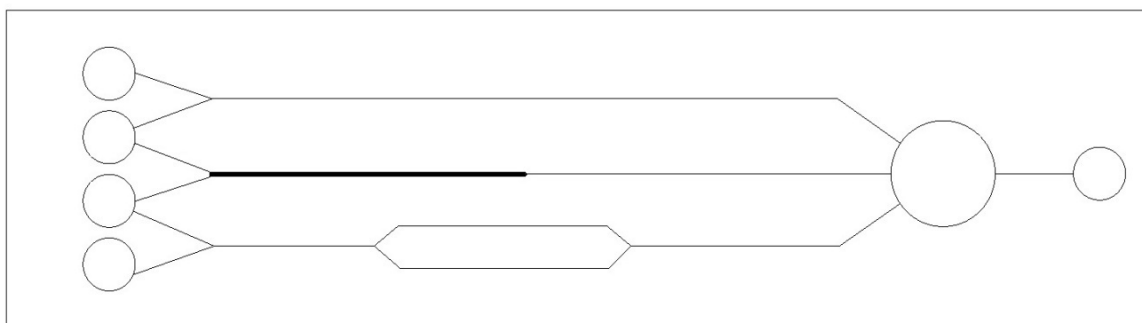
Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбор способа реализации модели для оценки функции эритроцитарного звена пуринергической системы регуляции сосудистого тонуса;
2. Выбор материала для изготовления и способы;
3. Создание компьютерной модели МФУ.

Так как необходимо изучить реакцию эритроцитов при протекании через микроциркуляторное русло, это налагает соответствующие требования к размерам модели создаваемой *in vitro*. Средний диаметр артериол составляет 40–100 мкм., таким образом, для того чтобы адекватно смоделировать условия движения эритроцитов по соответствующим сосудам, необходимо воссоздать их в лабораторных условиях. Требуемым условиям отвечает такое направление современной техники, как микрофлюидика. Микрофлюидные технологии позволяют создавать каналы необходимой в рамках реализуемой модели архитектуры. В качестве

материалов для изготовления МФУ используются оптически прозрачные вещества, так как необходимо не только смоделировать процесс, но и зафиксировать его параметры. В нашем случае материал для МФУ должен быть химически и биологически инертен, к таким веществам относят полидиметилсилоксан и полиметилметакрилат. Выбор сделан в пользу полиметилметакрилата, так как изготовление МФУ из этого материала менее трудоемко. В качестве способа изготовления использовался метод лазерной абляции.

Архитектура МФУ представлена на рис. 1. Модель чипа создана при помощи программы AutoCad. Тип и размер линий выбран из стандартных настроек параметров программы в соответствии с необходимыми размерами.



*Рис. 1. Архитектура МФУ для оценки функции эритроцитарного звена пуринергической системы регуляции сосудистого тонуса*

В рамках одного чипа была создана модель трех наиболее часто встречаемых ситуаций в микроциркуляторном русле:

- Течение по трубе постоянного диаметра (сосуды отвечают заданным требованиям на небольшом промежутке).
- Течение по трубе с переменным диаметром, второй канал может применяться с целью моделирования констрикции сосуда.
- Третий канал моделирует ситуации с бифуркацией сосудов.

Для увеличения эффективности и эргономичности подачи крови и реактива две емкости сообщаются с двумя каналами, которые относятся к разным течениям, и две емкости с одним каналом. В первую емкость подается кровь для первой модели течения; во вторую реактив, который разделяется на первую и вторую модели течения; в третью емкость кровь, разделяющаяся, как и реактив, на два канала, во вторую и третью модель течения; четвертая емкость, как и первая, с одним каналом для подачи реактива.

Во время течения крови по каналу происходит выход АТФ из эритроцитов. В чипе кровь смешивается с люциферинном, который окисляется в присутствии АТФ, с излучением кванта света. В зависимости от си-

туации будет наблюдаться различный выход АТФ из эритроцитов. Для регистрации квантов света используется фото-электронный умножитель, который в следствии преобразований выдает результат параметров, необходимых для постановки диагноза.

Исходя из того, что диаметр артериол 40–100 мкм, был выбран оптимальный размер канала, который составил 100×100 мкм. Диаметр емкости подачи крови и реактива составляет 2000 мкм. Диаметр емкости слива – 2500 мкм. Движение по каналам происходит за счет создания отрицательного давления в последней емкости.

Вывод: Таким образом, в рамках одного МФУ были смоделированы основные гидродинамические процессы, протекающие в артериолах при прохождении эритроцитов. Благодаря размерам каналов МФУ и заданной скорости протекания крови по ним, можно утверждать об адекватности созданной модели.

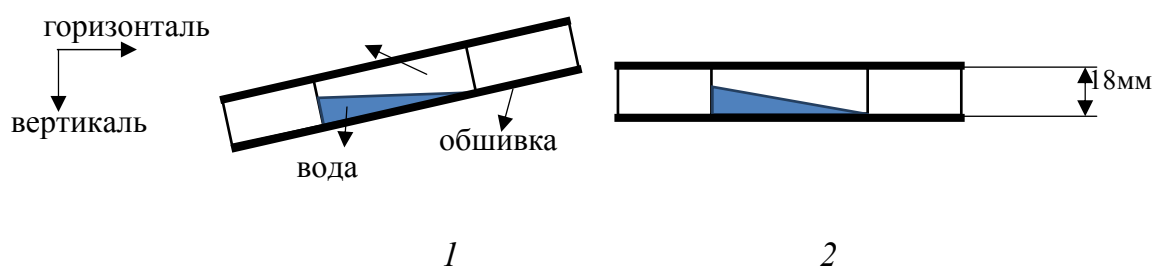
# ОЦЕНКА СКОПЛЕНИЯ ВОДЫ В НАКЛОННОЙ САМОЛЕТНОЙ ПАНЕЛИ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ

*Я. Пань*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Вавилов В.П., д.т.н., профессор*

Сотовая панель широко применяется в конструкции руля высоты, закрылок и некоторых секций фюзеляжа современных самолетов, скопление воды в самолетной панели влияет на экономичность и безопасность полета, имеется необходимость оценки скопления воды в сотовой панели, для этого, были разработаны разные методы контроля, тепловой метод является одним из самых эффективных методов для контроля скопления воды, а для количественной оценки воды, только ультразвуковой тепловой метод контроля пригодны. Для повышения эффективности контроля и сокращения объема работы, контроль скопления воды в сотовой панели эксплуатируемых самолетов без снятия соответствующих изделий имеет большое практическое значение.

В надлежащем состоянии эксплуатируемых самолетов, самолетные сотовые панели в конструкции закрылка, руля высоты или фюзеляжа могут быть не горизонтальными, а наклонными. По механизму проникновения воды [1], знаем, что проникновение воды происходит медленно, под действием эксплуатационных условий, распределение воды в наклонной панели может быть не равномерным, как показано на рис. 1, для удобства моделирования, трансформировали рис. 1. в вид, показанный на рис. 2.



*Рис. 1. Скопление воды в наклонной самолетной панели*

Обшивка изготовлена из композиционного материала – углепластика, толщина обшивки составляет 2 мм, размер дефектной зоны 3.8\*3.8 см, угол наклона 14 градусов. Данная работа посвящена поиску полезных информации при неравномерном распределении воды в самолетной панели, и определению возможности количественной оценки скопленной воды.

В начальном исследовании [2] уже было выяснено, что для горизонтальной панели количественная оценка воды может осуществляться сверху и снизу. В этом исследовании, мы будем рассматривать эти две ситуации для наклонной самолетной панели. Для удобства моделирования можно приблизительно рассматривать наклонную поверхность жидкости как ступенчатую, как показано на рис. 2.

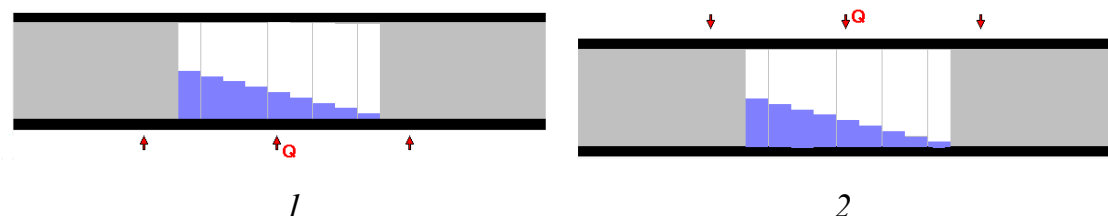


Рис. 2. Модель скопления воды в панели:  
1 – стимуляция снизу; 2 – стимуляция сверху

Моделирование сделано при помощи специализированной программы ThermoCalc-3D, на рис. 3 показано температурное поле при стимуляции снизу и сверху.

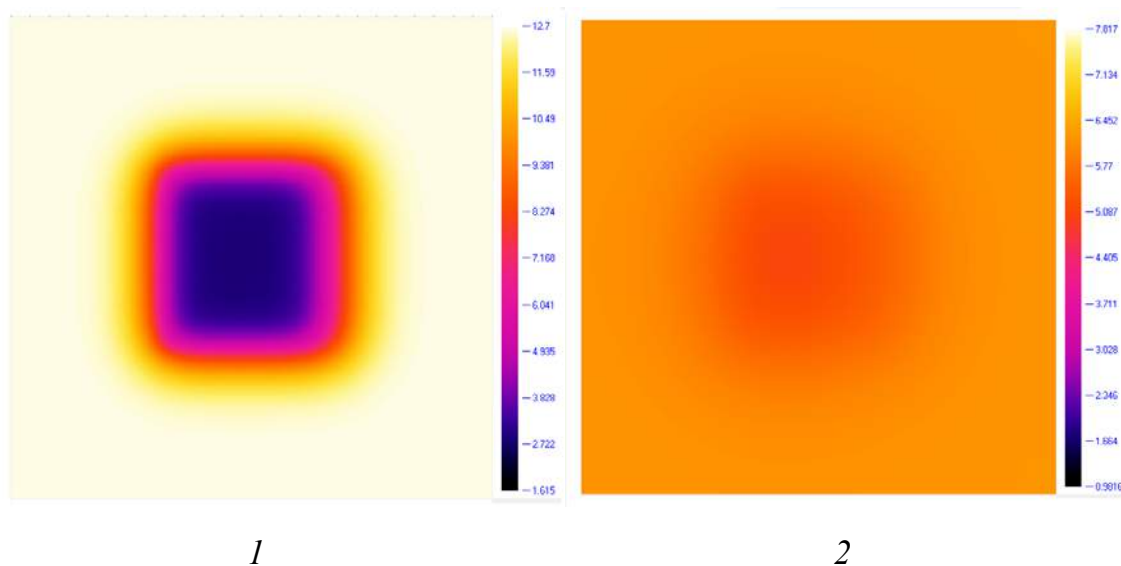
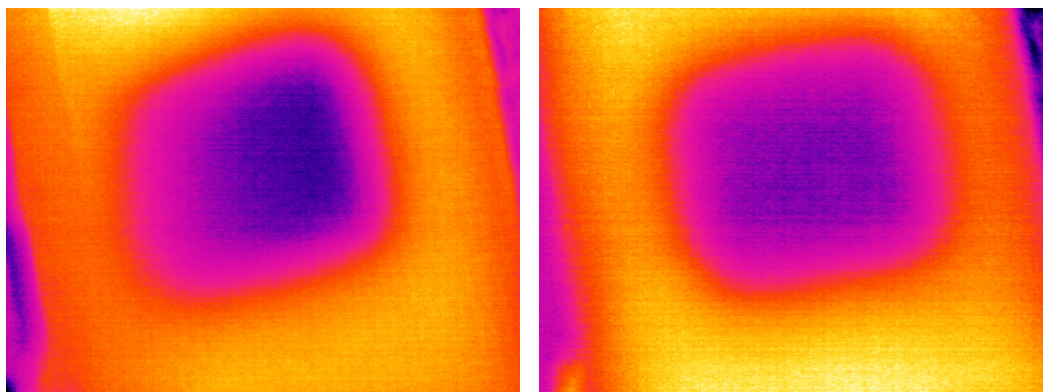


Рис. 3. Температурное поле: 1 – в момент 30с при стимуляции снизу;  
2 – в момент 80с при стимуляции сверху

При равномерном распределении воды распределение температуры на поверхности обшивки симметрично относительно центра дефектной зоны. При неравномерном распределении воды, распределение температуры несимметрично относительно центра дефектной зоны. В эксперименте применили галогенную лампу в качестве источника стимуляции, и применили тепловизор для регистрации температуры на поверхности

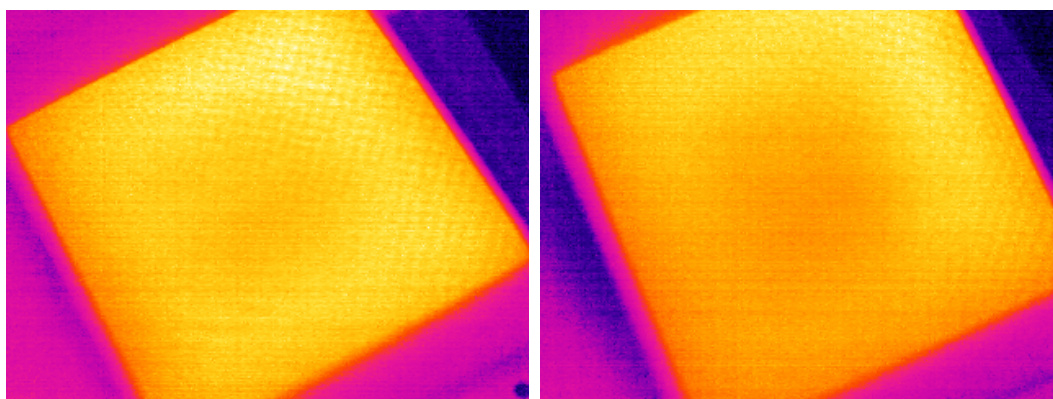
обшивки, выполнили сбор данных для горизонтальной и наклонной панели сверху и снизу, метод контроля соответствует схеме, показанной на рис. 2. Термограммы при контроле снизу показаны на рис. 4, термограммы при контроле сверху показаны на рис. 5.



1

2

*Рис. 4. Термограммы при стимуляции снизу: 1 – горизонтальная панель; 2 – наклонная панель (40 с)*



1

2

*Рис. 5. Термограммы при стимуляции сверху: 1 – горизонтальная панель(100 с); 2 – наклонная панель (100 с)*

При обработке термограмм выбрали центр дефектной зоны в качестве дефектной точки. Выбрали температурный сигнал  $\Delta T_m$ , температурный контраст  $C_m$  и соответствующие оптимальные времени наблюдения в качестве информативных параметров [3]. Результаты показаны в табл. 1 и табл. 2.

Из таблицы видно, что разница между наклонной панелью и горизонтальной панелью довольно мала.



Таблица 1

*Информативные параметры при стимуляции снизу*

	Информативные параметры (теоретические результаты)		Информативные параметры (экспериментальные результаты)	
	$\Delta T_m \tau(\Delta T_m)$	$C_m \tau(C_m)$	$\Delta T_m \tau(\Delta T_m)$	$C_m \tau(C_m)$
Наклонная панель	-9.787 (32.5)	-0.8235 (64.5)	-4.18 (38)	-0.68(63)
Горизонтальная панель	-9.149 (43)	-0.8226 (75.5)	-4.57 (37)	-0.71(64.5)

Таблица 2

*Информативные параметры при стимуляции сверху*

	Информативные параметры (теоретические результаты)		Информативные параметры (экспериментальные результаты)	
	$\Delta T_m \tau(\Delta T_m)$	$C_m \tau(C_m)$	$\Delta T_m \tau(\Delta T_m)$	$C_m \tau(C_m)$
Наклонная панель	-1.063 (165)	-0.205 (390)	-0.255(68)	-0.103 (107)
Горизонтальная панель	-0.9481 (175)	-0.1959 (415)	-0.243 (69)	-0.097 (102)

Для оценки скопленной воды, можно выбрать центр дефектной зоны в качестве дефектной точки, результаты при исследуемом угле наклонна довольно близки к результатам, полученным в горизонтальной панели, при проведении контроля, наклоном панели можно пренебречь. Результат исследования способствует упрощению практических задач контроля.

**Список информационных источников**

1. Katzman, Howard A., Robert M. Castaneda, and Han Sik Lee. Moisture diffusion in composite sandwich structures // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 39.5. – 2008. Pp. 887-892.
2. Vavilov Vladimir, etal. Detecting water ingress in aviation honeycomb panels: Qualitative and quantitative aspects // Polymer Testing. – 2016. Vol.54. – pp. 270-280.
3. Неразрушающий контроль: справочник / под общ.ред. В.В. Ключева.– М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.

## ПРОЦЕСС КОМПАКТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ СОСТАВА (МОЛЬ%) $97\text{ZrO}_2-3\text{Y}_2\text{O}_3$

*А.Б. Петрова*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Суржиков А.П., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

В современном обществе постоянно возрастают требования к качеству используемых на производстве материалов. Одним из таких материалов, широко используемым в различных областях промышленности, является циркониевая керамика ( $\text{ZrO}_2$ ). Процесс производства циркониевой керамики включает в себя этап компактирования порошков. Одним из факторов, оказывающих влияние на характеристики компактов, является способ получения порошка, из которого их изготавливают.

Целью данной работы является сравнение кажущейся плотности и открытой пористости компактов состава (моль%)  $97\text{ZrO}_2-3\text{Y}_2\text{O}_3$ , выполненных из двух видов порошка – коммерческого, полученного методом гидролиза (TOSOH, Япония) и ультрадисперсного, полученного плазмохимическим способом (АО СХК, Россия).

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены 24 образца керамики состава (моль%)  $97\text{ZrO}_2-3\text{Y}_2\text{O}_3$ , первая партия из которых была выполнена из плазмохимического порошка  $\text{ZrO}_2$ , произведенного АО «Сибирский Химический Комбинат». Порошки, получаемые методом плазмохимического синтеза, имеют невысокие технологические характеристики из-за сферической формы порошинок [1]. Исследования авторов [2, 3] показали зависимость свойств керамики от размера зерен  $\text{ZrO}_2$ . Так, для получения мелкозернистой высокоплотной керамики лучше всего подходят гомогенные, ультрадисперсные порошки с однородным распределением частиц по размерам [4]. Поэтому, для улучшения морфологии и повышения однородности гранулометрического состава, порошок был обработан в планетарной мельнице «Активатор 2SL» в течение 15 минут. Вторая партия образцов была выполнена из порошка, произведенного японской корпорацией «TOSOH», и не подвергалась механической активации.

Образцы формовали сухим одноосным статическим прессованием в виде таблеток диаметром 12 мм и толщиной  $\sim 1,4$  мм при давлении 130 МПа. Плотность полученных образцов составила  $\sim 2,9$  г/см<sup>3</sup>.

Спекание образцов осуществлялось в печи сопротивления СНОЛ. Спекание представляет собой процесс уплотнения поликристаллических веществ при термообработке, за счет которого происходит умень-

шение объема пор, рост зерен, изменение их формы и укладки, и, как следствие, происходит повышение прочности и плотности спекаемого образца [5]. Нагрев печи осуществлялся с линейной скоростью 10°С/мин до 1400 °С, время выдержки образцов составило 120 минут.

Кажущаяся плотность спеченных образцов была определена методом гидростатического взвешивания с использованием аналитических весов Shimadzu AUW-220D. Расчет кажущейся плотности производился по следующей формуле [6]:

$$\rho_k = \rho_{\text{жид}} \cdot \frac{m_{\text{сух}}}{m_{\text{нас. жид}} - m_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где  $\rho_{\text{жид}}$  – плотность дистиллированной воды, г/см<sup>3</sup>;  $m_{\text{сух}}$  – масса сухого образца, г;  $m_{\text{нас. жид}}$  – масса образца, насыщенного дистиллированной водой, г;  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  – масса образца, погруженного в дистиллированную воду, г.

Насыщение образцов дистиллированной водой проходило в течение суток в стеклянных бюксах.

Открытая пористость образцов определялась по следующей формуле [6]:

$$\theta_{\text{откр}} = \frac{m_{\text{нас. жид}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{нас. жид}} - m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 \%,$$

где  $m_{\text{нас. жид}}$  – масса образца, насыщенного дистиллированной водой, г;  $m_{\text{сух}}$  – масса сухого образца, г;  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  – масса образца, погруженного в дистиллированную воду, г.

В табл. 1 представлены значения кажущейся плотности и открытой пористости компактов.

Таблица 1

*Кажущаяся плотность и открытая пористость компактов состава (моль%) 97ZrO<sub>2</sub> – 3Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

Образцы	$\rho_k$ , г/см <sup>3</sup>	$\theta_{\text{откр}}$ , %
Компакты TOSOH	5,9 ± 0,1	1,2 ± 0,5
Компакты СХК	5,4 ± 0,2	5,8 ± 0,6

Таким образом, в данной работе показано, что способ изготовления порошков состава (моль%) 97ZrO<sub>2</sub> – 3Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оказывает существенное влияние на их компактируемость. Кажущаяся плотность компактов, изготовленных из коммерческого порошка фирмы TOSOH, полученного методом гидролиза, составила ~5,8 г/см<sup>3</sup>, для компактов, изготовленных из порошка, полученного плазмохимическим способом ~5,49 г/см<sup>3</sup>.

Механическая активация порошков позволяет улучшить показатели кажущейся плотности и открытой пористости.

#### **Список информационных источников**

1. Гынгазов С.А., Васильев И.П. К вопросу об определении фазового состава в объеме образцов циркониевой керамики // Системы. Методы. Технологии: научный журнал. – 2013. – № 2 (18). – С. 102–105.
2. Дудник Е.В., Зайцева З.А., Шевченко А.В. и др. Методы получения дисперсных порошков на основе диоксида циркония // Порошковая металлургия. – 1993. – № 7. – С. 24–26.
3. Анциферов В.Н., Севастьянов И.Г. Влияние тонкого измельчения на структуру и свойства диоксида циркония // Огнеупоры. – 1994. – № 2. – С. 2.
4. Чухарев В.Ф., Студенкин Г.В., Чухарев В.Ф., Мохонь Т.В. Особенности переработки нанопорошков YSZ и электропроводность керамики на их основе // Твердооксидные топливные элементы: сборник научно-технических статей. – 2003. – С. 58–76.
5. Перспективные неорганические материалы со специальными функциями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chem.msu.ru/teaching/materials/eag4a.pdf> 22.09.2016
6. ГОСТ 2409-2014. Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения. – М.: Стандартинформ, 2014 – 8 с.

## **КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

***Н.В. Попова, Е.В. Францина, Э.Д. Иванчина, И.В. Зырянова***

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Белинская Н.С., к.т.н., ассистент кафедры  
химической технологии топлива и химической кибернетики ТПУ*

Промышленные каталитические процессы нефтепереработки, как правило, представляют собой сложные химико-технологические процессы, которые требуют качественного контроля и управления. Оптимизация технологического процесса представляет большую сложность ввиду его нестационарности, которая обусловлена постоянным изменением состава сырьевых фракций, непостоянством технологических режимов, протеканием химических реакций и дезактивацией катализатора. Одновременный учет всех этих факторов на практике невозможен, поэтому прогнозирование работы сложных промышленных установок в условиях нестационарности является трудоемкой задачей.

Решение данной проблемы представляется возможным с использованием математических моделей, разработанных на основе фундаментальных закономерностей превращения углеводородов на катализаторе с учетом факторов нестационарности и взаимного влияния каждого из сопряженных процессов, протекающих в единой химико-технологической системе. Применение таких моделей позволяет спрогнозировать поведение сложной химико-технологической системы в постоянно меняющихся условиях протекания процесса.

На кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета была разработана математическая модель процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива. Данный процесс направлен на получение зимних, летних и арктических дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами. Это сложная химико-технологическая система, которая включает в себя взаимосвязанные стадии гидроочистки, депарафинизации, стабилизации и ректификации [1, 2]. Разработанная с учетом сопряженности аппаратов, на основе установленных термодинамических и кинетических закономерностей, математическая модель была использована для решения основной проблемы промышленной реализации процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив – повышения его ресурсоэффективности, что позволило определить оптимальную технологию эксплуатации Ni-катализатора в промышленных условиях для максимального использования ресурса катализатора при

соблюдении требований по качеству и количеству получаемого продукта [4].

В системе сопряженных реакторных аппаратов процесса протекают реакции гидрокрекинга, гидроизомеризации, гидрирования ненасыщенных углеводородов, гидрирования меркаптанов с образованием сероводорода, ароматизации, коксообразования. На основе экспериментальных данных с промышленной установки, а также с применением метода квантовой химии, реализованного в программе Gaussian были определены термодинамические параметры реакций и составлена формализованная схема превращений в реакторе депарафинизации (рис. 1).

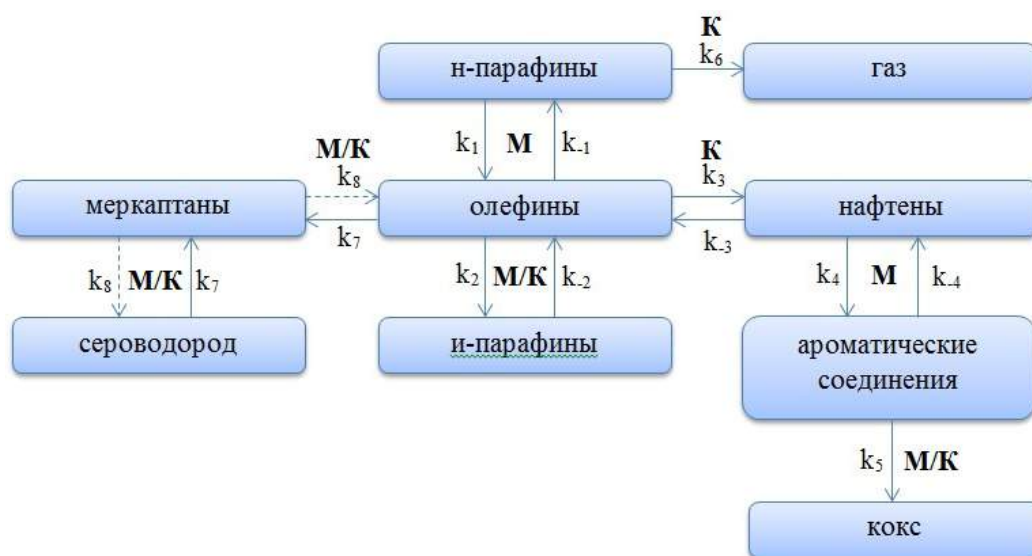


Рис. 1. Схема превращений углеводородов в процессе депарафинизации: *М* – металлический центр катализатора; *К* – кислотный центр катализатора

Целевыми реакциями процесса являются реакции гидрокрекинга высокомолекулярных парафинов нормального строения и дегидрирования низкомолекулярных парафинов с последующей их изомеризацией через стадию образования олефина. Основной побочной реакцией является коксообразование.

На основе формализованной схемы превращений в реакторе было составлено кинетическое описание процесса в виде системы дифференциальных уравнений изменения концентраций реагирующих веществ по времени контакта с начальными условиями.

Проверка модели на адекватность проведена путем сравнения расчетных значений, и экспериментальных данных с промышленной установки. В табл. 1 показано, что модель адекватно описывает процесс и может применяться для выявления закономерностей процесса, проведения прогнозных расчетов и оптимизации.

Таблица 1

*Сравнение экспериментальных и расчетных значений*

Продукт (эксперимент), % мас.	Продукт (расчет), % масс.	Погрешность (абсолютная), %
н-парафины C <sub>10</sub> –C <sub>27</sub>		
10.17	11.18	1.01
13.54	11.85	1.69
изо-парафины		
26.46	26.40	0.06
22.95	24.1	1.15
олефины		
1.74	1.99	0.25
2.63	2.58	0.05
Моноароматические соединения		
20.53	20.06	0.47
19.90	20.09	0.19

В процессе каталитической депарафинизации происходит дезактивация катализатора вследствие закоксовывания и отравления серой кислотных и металлических центров катализатора. С помощью модели было установлено, что в период с 2012 по 2016 г. происходило постепенное снижение выхода дизельных фракций с 90 до 44 % с одновременным увеличением выхода бензиновых фракций с 8 до 20 %. Это свидетельствует об ослаблении реакций гидрирования, приводящее к снижению выхода дизельных фракций, и усилению реакций крекинга, приводящее к увеличению выхода легких фракций. При этом увеличение выхода остатка (фракция >340 °С) (рис. 2) свидетельствует об уменьшении общей активности катализатора, что приводит к снижению конверсии сырья, что приводит к необходимости увеличивать температуру в реакторе.

Для управления процессом дезактивации катализатора с учетом изменяющегося состава сырья математическая модель процесса депарафинизации была дополнена функцией дезактивации.

Расчет на модели показал, что температура в реакторе депарафинизации без дезактивации катализатора в среднем ниже фактической на 19 °С при условии обеспечения определенного выхода продукта одинакового качества по предельной температуре фильтруемости (табл. 2).

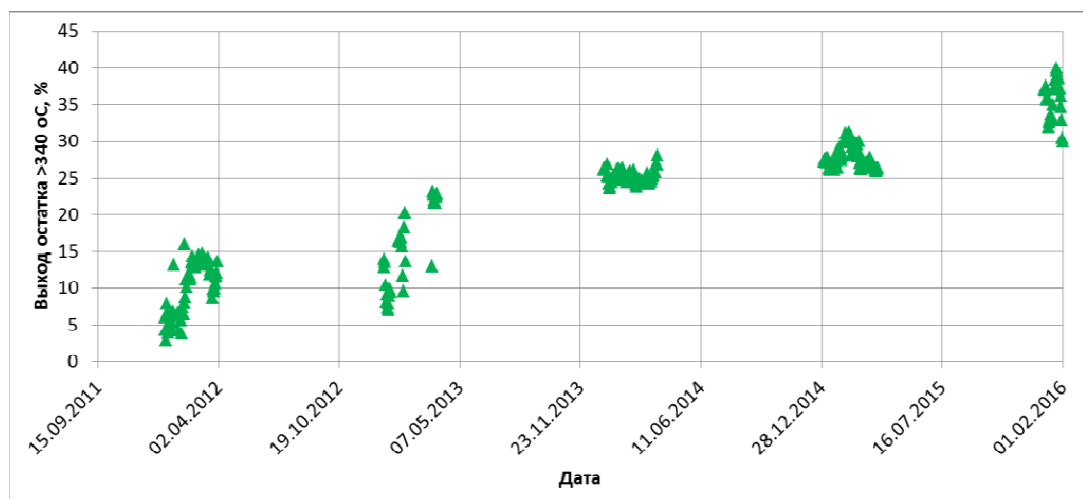


Рис. 2. Выход остатка >340 °C в процессе депарафинизации в период 2012–2016 г.

Таблица 2

*Расчет температуры, компенсирующей дезактивацию*

[1] Дата	[2] Выход фракции 240-340 (ДТ), %	[4] ПТФ, [5] °C	[6] Т на входе в Р-3 (факт), °C	[8] Т на входе в Р-3 (расчет), °C	[10] ΔТ, °C
[11] 25.01.2016	[12] 41,4	[13] -34	[14] 341	[15] 318	[16] 23
[17] 27.01.2016	[18] 41,8	[19] -37	[20] 352	[21] 332	[22] 20
[23] 29.01.2016	[24] 41,5	[25] -44	[26] 360	[27] 345	[28] 15
[29] 05.02.2016	[30] 43,0	[31] -41	[32] 369	[33] 350	[34] 19

Было подсчитано, что дезактивация катализатора за период работы составила 32 %.

Предложенная математическая модель процессакаталитической депарафинизации дизельных, основанная на одновременном учете физико-химических закономерностей превращения углеводородов на катализаторе, факторов нестационарности и взаимного влияния каждого из сопряженных процессов, протекающих в единой химико-технологической системе, позволяет определять оптимальную технологию эксплуатации каталитических систем в промышленных условиях и прогнозировать их работу в условиях нестационарности.

**Список информационных источников**

1. Белинская Н.С., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Чузлов В.А., Фалеев С.А. Математическое моделирование процесса каталитической депарафинизации атмосферного газойля с учетом взаимосвязи аппара-



- тов технологической схемы // *ProcediaEngineering* (Просидиа Инжиниринг). – 2015. – № 113. – С. 68–72.
2. Белинская Н.С., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Силко Г.Ю. Оптимизация режима работы установки депарафинизации дизельного топлива методом математического моделирования // *Химия и химическая технология*. – 2014. - № 11. – С. 90–92.
  3. Эрдаль А., Айзе Д.К., Хасан С. Динамическое моделирование промышленной установки гидропереработки дизельных топлив методом приближения // *Comp.and Chem.Eng.*(Информационные и химические технологии). – 2015. – №82. – С. 44–54.
  4. Кохли К., Прайapati Р., Маити С.К. Дезактивация катализаторов гидроочистки металлами смол и асфальтенов тяжелых нефтей и остатков // *Fuel*. – 2016. – № 175. – С. 264–273.

## АНАЛИЗАТОРЫ ГАЗА НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

*В.С. Портнов, С.К. Смагулова*

*Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда  
Научный руководитель: Портнов Василий Сергеевич, доктор технических  
наук, профессор кафедры ГИГ*

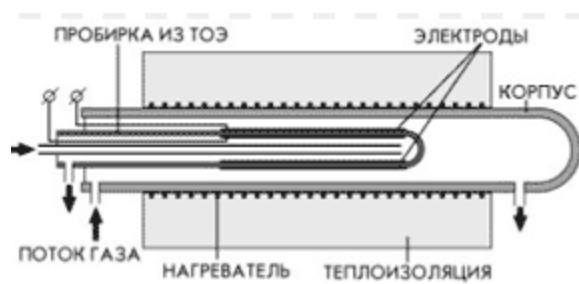
Одной из главных отраслей в мировой экономике является добыча угля, которая является базовой составляющей энергетического комплекса. Поэтому достойные условия труда и безопасная добыча угля для окружающей среды является важнейшими критериями.

Анализ существующих методов приводит к выводу, что существуют существенные недоработки в области определения концентрации газа. Широкое применение нашли методы, основанные на свойствах твердых электролитов. Поскольку к их рядам относится большое количество веществ, в том числе оксиды, соли, кислоты, а также полимеры. Ключевым моментом в определении их основных свойств является ионная проводимость, обусловленная ионной кристаллической решеткой. В узлах данной кристаллической решетки находятся не нейтральные атомы, а заряженные ионы. Они образуют две подрешетки-катионную и анионную. Ионы имеют возможность совершать колебательные движения в жидкости, но в твердых телах данная возможность отсутствует. Данную ситуацию можно изменить при добавлении к основному веществу другое, схожее соединением, в котором анионов меньше, а катионов столько же. В таком случае катионная подрешетка остается прежней, а в анионной появляются пустые узлы –вакансии. При подаче на данное тело напряжения в них начнет происходить процесс перехода анионов с достаточной большой энергией, а вакансии начнут движение в сторону катодов. В таких условиях возникает электрический ток, обусловленный движением ионов только одного вида. Ионная проводимость наиболее высока, при условии большого количества вакансий.

На сегодняшний день существует большое количество конструкции, принцип действия которых основано на свойствах твердых электролитов. Схема устройства проста: пробирка с парой электродов на стенке с обеих сторон, нагреватель, теплоизоляционная часть, а также отверстие для потока газа. Данная пробирка помещена в нагреватель: внутрь пробирки и в пространство. Визуально устройство схемы можно рассмотреть на рис. 1.

Рассмотрим основные виды датчиков газа, основанные на свойствах твердых электролитов. Наиболее простые датчики – потенциомет-

рические датчики состава газа. Потенциометрический датчик позволяет определять состав сложных газовых смесей, в состав которых входит углекислый и угарный газ, водород и водяной пар. Если стержень из твердого электролита с электродами нагрет неравномерно, он начнет терять кислород и между электродами возникает разность потенциалов. Кислородные датчики- датчики на основе твердых электролитов, единственные на сегодняшний день, которые нашли практическое применение. Следующий вид – кислородные насосы. Во внешнее пространство пробирки подается воздух или газ, содержащий кислород. Если внешний электрод стал анодом, а внутренний – катодом, то из газа в пробирку будет поступать чистый кислород.



*Рис. 1. Схема устройства на основе твердых электролитов*

Электролизеры – датчики, к внешнему электроду которых подводят водяной пар или углекислый газ. На катоде будет происходить разложение пара или углекислого газа, а на аноде в обоих случаях выделяется кислород.

В данной статье были рассмотрены некоторые виды анализаторов газа, на основе твердых электролитов. Следует сделать вывод, что на сегодняшний день данные датчики нашли практическое применение для определения кислорода и углекислого газа, когда в мире происходит активная добыча полезных ископаемых с огромным количеством выброса метана и других горючих газов и их смесей.

### **Список информационных источников**

1. Тхоржсвский В. П., Автоматический анализ химического состава газов, М., переизд, 2005. – 123 с.
2. Коллеров Д.К. Метрологические основы газоаналитических измерений, М., переизд. 2008. – 123 с.

# ТЕПЛОВЫЙ КОНТРОЛЬ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО НАГРЕВА

*А.А. Разумова, Люй Цзинье, В.В. Ширяев*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Ширяев В. В., к.т.н., ведущий инженер  
лаборатории № 34*

На сегодняшний день в производстве самолетов и другой авиакосмической техники существенную долю занимают детали, изделия из композитных и сотовых материалов. Актуальной задачей является поиск нарушений в этих изделиях, связанных не только с изготовлением, но и с их эксплуатацией.

Значительную часть нарушений составляют в сотовых панелях при изготовлении затечки клеевого материала в сотах, а при эксплуатации – накопление водяного конденсата.

Целью данной работы явилось исследование различных режимов контроля сотовых панелей с помощью методов активного теплового неразрушающего контроля (АТНК).

Первым шагом исследований стало определение выявляемости дефектов в панелях при одностороннем контроле на различных расстояниях  $L$  между тепловым дефектоскопом и панелью.

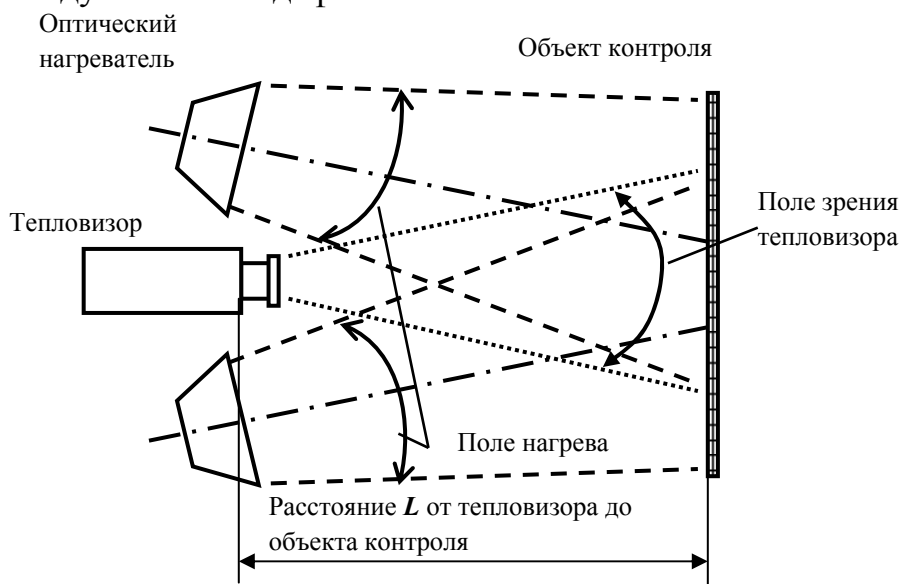


Рис. 1. Схема применения теплового дефектоскопа

Перед проведением экспериментальных исследований необходимо произвести измерение плотности потока нагрева на различных расстояниях  $L$ . Результаты измерений показаны в табл. 1. В качестве оптического нагревателя использовали две галогеновые лампы мощностью

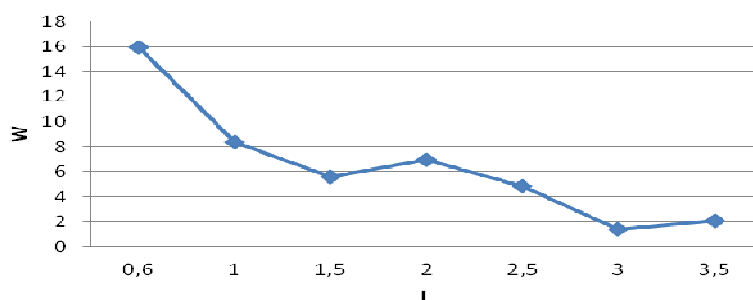
по 1 кВт каждая, заключенные в стандартном светоотражательном корпусе, тип HL-2.

Таблица 1

*Плотность теплового потока 2-х киловаттного оптического нагревателя.*

$L, \text{ м}$	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$W, \text{ Дж/м}^2$	15,98	8,34	5,56	6,95	4,87	1,39	2,09

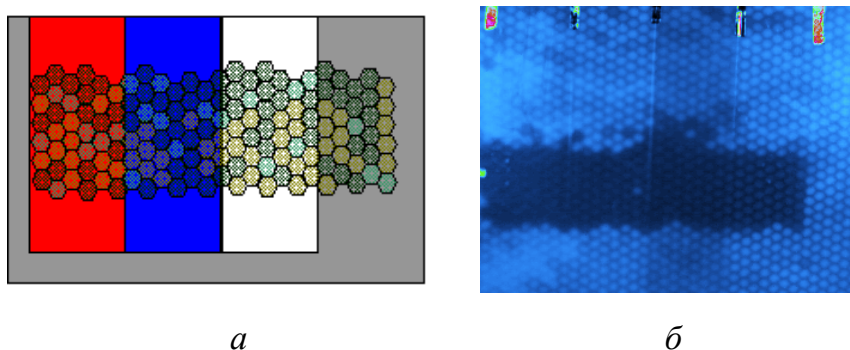
Из табл. 1 видно, что имеется сильная зависимость плотности потока оптического нагревателя на базе HL-2 от расстояния до объекта контроля. Для данного нагревателя зависимость имеет вид:



*Рис. 2. Зависимость плотности нагрева панели от расстояния между нагревателем и панелью*

По рис. 2 можно сделать вывод о том, что, при увеличении расстояния между объектом контроля и нагревателем, плотность нагрева уменьшается. Выбросы на графике объясняются тем, что при получении данных угол отражения сигнала не всегда был одинаков, что связано с перемещением панели на расстояния и человеческим фактором.

Для исследований были изготовлены дефектные области, пересекающие 4 цветовые области в сотовой панели. Подобные сотовые панели применяются в авиастроении.



*Рис. 3. Примерный вид дефектной области панели (а) и термограмма этой области (б)*

Из термограммы хорошо видно область дефекта. Термограмма была получена при периодическом нагреве на расстоянии 0,6 м от источника нагрева. С помощью данной термограммы можно определить область дефекта, структуру материала – соты, а так же заметны границы между цветами.

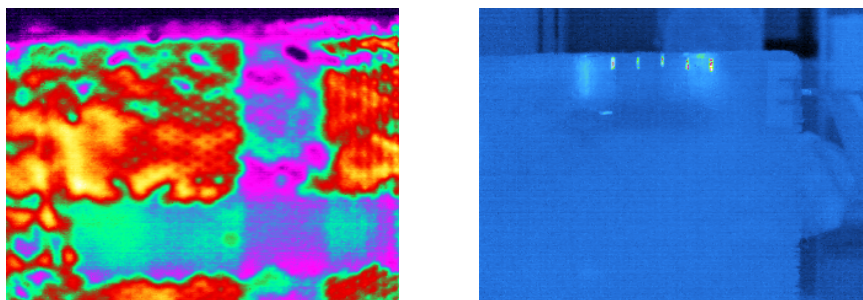
Далее были получены последовательности термограмм на определенных расстояниях и значения отношения сигнал/шум. Последовательности термограмм были обработаны с помощью программы ThermoFit Pro опцией «Комплексный Вейвлет анализ». Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Зависимость отношения сигнал/шум дефектных зон в зависимости от цвета поверхности при однократном нагреве.*

L, м	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Цвет поверхности	SNR						
Серый	3,11	1,89	2,84	2,71	1,25	0,76	0
Белый	4,13	1,18	1,51	1,36	0,87	0,88	0
Синий	2,82	0,35	0,84	0,95	0,71	1,01	0
Красный	2,59	0,50	0,61	1,43	0,84	2,42	0

На рис. 4 представлены термограммы, полученные на расстоянии 0,6 м и 2 м.



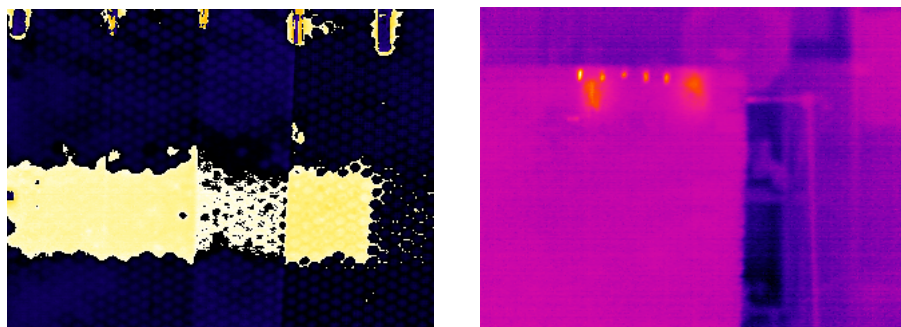
а б

*Рис. 4. Термограммы на расстоянии 0,6 м (а) и 2 м (б)*

По результатам табл. № 2 видно, что при однократном нагреве на расстоянии 2 м и более отношение сигнал/шум достаточно мало, так же видно по рис. 4 (б), что дефект практически не заметен, а значит, на более дальнем расстоянии его обнаружить практически не возможно. рис. 4 (а) видим, что полоса белого цвета выделяется так же четко, как и область дефекта, другие цвета неразличимы.

Далее проведен эксперимент с периодическим нагревом, со следующими параметрами: нагрев – 2 с, остывание – 2 с, количество циклов – 5, что соответствует энергетической мощности первого эксперимента. Последовательности термограмм были обработаны с помощью программы ThermoFit Pro опцией «Фурье анализ». Результаты представлены в табл. 3.

На рисунке 5 представлены термограммы, полученные на расстоянии 0,6 м и 2,5 м.



а б

Рис. 5. Термограммы на расстоянии 0,6 м (а) и 2,5 м (б).

Таблица 3

*Зависимость отношения сигнал/шум дефектных зон в зависимости от цвета поверхности при циклическом нагреве.*

L, м	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Цвет поверхности	SNR						
Серый	5,47	51,63	1,15	2,46	1,14	3,67	1,56
Белый	47,39	38,67	3,74	4,99	1,96	3,32	1,35
Синий	53,43	57,12	1,55	5,07	0,98	3,15	0,68
Красный	54,00	59,44	1,88	4,26	3,39	1,19	0,88

По результатам табл. № 3 видно, что при периодическом нагреве на расстоянии 2,5 м и более отношение сигнал/шум достаточно снижается, так же видно по рис. 5 (б), что дефект на расстоянии 2,5 м уже не различим, а значит, на более дальнем расстоянии его обнаружить при данных параметрах эксперимента не возможно. По рис. 5 (а) видим, что полоса белого цвета выделяется на фоне других цветов, другие цвета неразличимы, границы между цветами практически не заметны. Так же видны реальные границы дефекта, а так же заметно, что полоса белого цвета не дает увидеть четкие границы дефекта, что связано с отражающей способностью данного цвета, а так же материала данной полосы.

По результатам двух экспериментов можно сделать вывод о том, что при циклическом нагреве дефект различим на более дальнем расстоянии.

#### **Список информационных источников**

1. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Издательский дом «Спектр», 2009. – С. 17–33, 187 – 200, 259, 290–344.
2. ГОСТ Р 53698-2009 Национальный стандарт РФ. Контроль неразрушающий. Методы тепловые. Термины и определения. – Национальный стандарт РФ, 2011 г.



## ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЁМКОСТИ САР-10

*А.В. Рюмкин, Г.В. Вавилова*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Вавилова Г.В., старший преподаватель кафедры физических методов и приборов контроля качества, НИ ТПУ*

Для обеспечения качества кабельных изделий необходимо осуществлять технологический контроль ёмкости провода

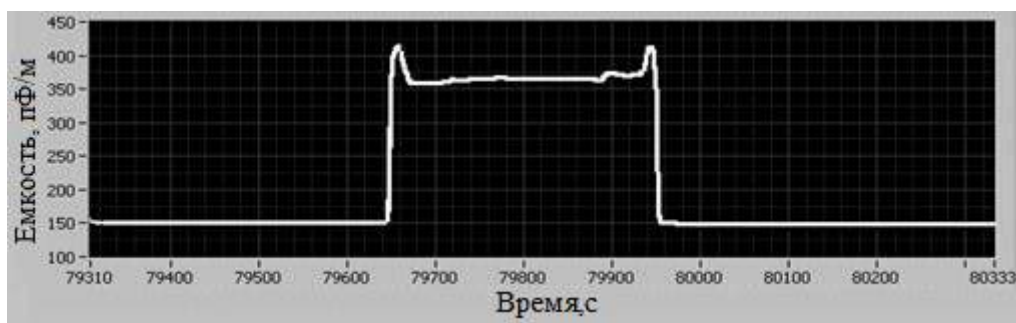
Для технологического контроля ёмкости используется прибор САР-10, в основу которого заложен электроёмкостной метод, позволяющий по значению тока и напряжению в электрической цепи измерительного электрода, определять ёмкость участка провода, находящегося в зоне измерения [1].

Так как измеритель ёмкости САР-10 фиксирует даже незначительное изменение ёмкости, то резкое изменение ёмкости, соответствующее наличию дефекта, не может остаться незамеченным для этого прибора.

Для проверки эффективности использования измерителя ёмкости для обнаружения дефектов изоляции было проведено исследование, для которого использовались образцы провода с искусственно созданными дефектами.

Для исследования использовался образец одножильного провода диаметром изоляции 1,5 мм, длиной 1 м и действительным значением погонной ёмкости до нанесения дефекта  $C = 150$  пФ/м. Действительное значение погонной ёмкости определено по методике, рекомендуемой ГОСТ 27893-88 «Кабели связи. Методы испытаний» [2]. Дефекты изоляции формировались искусственным образом на отрезке бездефектного образца провода. Таким образом, был получен набор образцов провода со сквозным дефектом,

На рис. 1 показана реакция САР-10 на попадание в зону измерения дефекта.



*Рис. 1. Сдир изоляции по всему диаметру провода*

Анализ результатов показывает, что измеритель ёмкости САР-10 способен обнаруживать дефекты указанного вида. Более детальное исследование было проведено со сдиром изоляции. Для этого использовались образцы провода со сдиром изоляции с разными размерами от 0 до 10 мм. Полученные значения ёмкостей представлены на рис. 2.

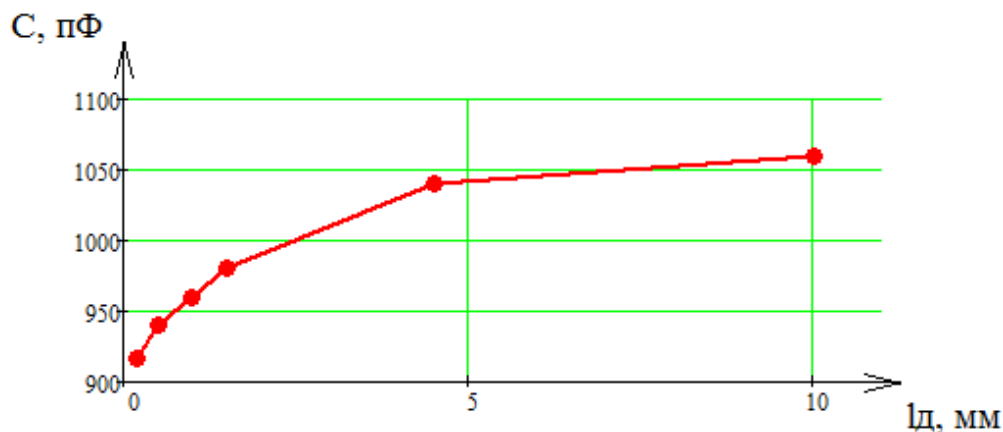


Рис. 2. Зависимость ёмкости образца провода от длины дефекта

Как видно из рис. 2, САР-10 способен инициализировать дефекты разных размеров. С увеличением длины дефекта чувствительность падает.

Для того, чтобы проверить, насколько правильно измеритель ёмкости определяет погонную ёмкость провода с дефектом, в программе «Mathcad» была создана математическая модель бездефектной части провода и провода с дефектом. Для создания математической модели будем использовать геометрические размеры реального образца провода. В качестве дефекта используем сдир изоляции по всему диаметру, длиной 0,2 мм.

Известно, что образец провода представляет собой двухслойный конденсатор, состоящий из жилы, оплетки и изоляции.

Ёмкость бездефектного образца провода рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{C_{\text{бд}}} = \frac{\ln(D/d)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l} + \frac{\ln(d1/d)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot l} ; C_{\text{бд}} = 149,1 \text{ пФ},$$

где  $l$  – длина кабеля, м;  $d$ ,  $d1$ ,  $D$  – диаметры проводящей жилы, оплетки и изоляции соответственно, мм;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная, равная  $8,86 \cdot 10^{-12}$ , Ф/м;  $\rho$  – удельное сопротивление, Ом/м;  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала изоляции;  $l1$ ,  $l2$  – длина первого и второго участка, м (рис. 3).

Модель провода с дефектом представлен на рис. 3. Условно провод можно представить как три параллельно соединённых конденсатора.

Провод с дефектом можно разделить на три участка, один из которых будет представлен как участок с дефектом.

Для провода с дефектом:

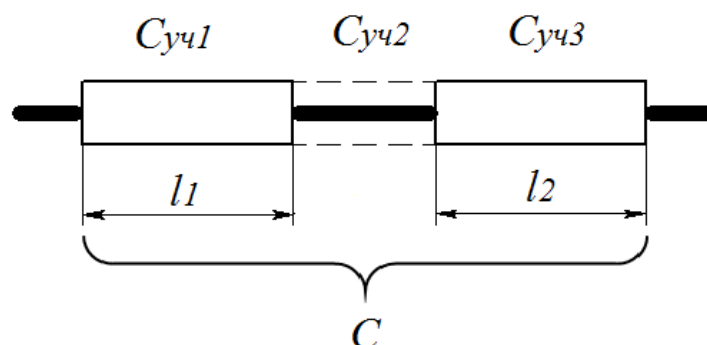


Рис. 3. Схематичное изображение провода с дефектом

$$\frac{1}{C_{уч1}} = \frac{\ln(D/d)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l_1} + \frac{\ln(d1/d)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot l_1}; C_{уч1} = 75,33 \text{ пФ};$$

$$C_{уч2} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{d}{2} = 215,3 \text{ пФ}; \frac{1}{C_{уч3}} = \frac{\ln(D/d)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0 \cdot l_2} + \frac{\ln(d1/d)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot l_2};$$

$$C_{уч3} = 73,50 \text{ пФ}.$$

В итоге, суммарная ёмкость образца провода с дефектом равна:

$$C = C_{уч1} + C_{уч2} + C_{уч3} = 364,13 \text{ пФ}.$$

Рассчитанная ёмкость приблизительно равна полученной в эксперименте, представленной на рис. 1.

**Вывод.** Анализ представленных результатов показал принципиальную возможность измерителя ёмкости САР-10 для обнаружения локальных дефектов – сдир изоляции на участке и по всему диаметру провода, утолщение изоляции, точечный прокол. Математические расчеты подтверждают экспериментальные исследования, что говорит о том, что измеритель ёмкости можно использовать для обнаружения локальных дефектов изоляции при технологическом контроле кабельных изделий.

### Список информационных источников

1. Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В. Измеритель погонной емкости одножильного провода для технологического контроля // Ползуновский вестник. – 2015. – № 3. – С. 38–42.
2. ГОСТ 27893-88 (СТ СЭВ 1101–87). Кабели связи. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meganorm.ru/Index/11/11797.htm> 23.09.2016.

# УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РЕКОНСТРУКТИВНАЯ ТОМОГРАФИЯ НА ОСНОВЕ СЕКТОРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

*А.Г. Сагалакова*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., ведущий эксперт кафедры  
физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

В настоящее время наиболее развивающимся направлением развития ультразвукового контроля является технология, основанная на фазированных решетках. Применение данной технологии на практике при техническом диагностировании оборудования позволяет значительно повысить качество контроля.

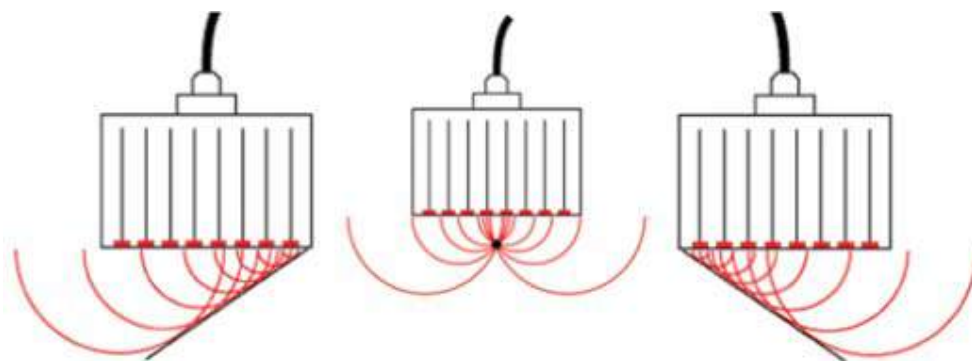
Технология ультразвуковой дефектоскопии, основанной на фазированной решетке, заключается в генерировании ультразвуковых волн и их интерференции. Преобразователь (кристалл) фазированной решетки представляет собой множество пьезоэлектрических элементов, собранных в один блок. Программируемый генератор контролирует все элементы для формирования лучей. В результате интерференции волн, исходящих от всех элементов, формируется результирующая волна под желаемым углом ввода, и производится сканирование. Затем генератор меняет угол ввода результирующей волны, и процесс сканирования повторяется.

В методе ультразвукового контроля фазированными решетками генерируется ультразвуковой луч с настраиваемыми углом ввода, фокусным расстоянием и размером фокусного пятна. При этом также можно настроить генерирование луча в разных секторах фазированной решетки. Благодаря, этим функциям открывается целый ряд новых возможностей. Например, можно быстро изменить параметры угла и изменить направление сканирования, не передвигая датчик. Таким образом, эта технология заменяет собой целый ассортимент датчиков и даже некоторые механические компоненты. При контроле лучом с переменным углом коэффициент обнаружения дефектов, как правило, выше вне зависимости от их ориентации. При этом соотношение сигнал-шум остается наилучшим. Графически схема формирования результирующей волны с необходимым углом ввода в металл показана на рис. 1.

Контроль фазированными решетками осуществляется гораздо быстрее, качественнее и проще, во многих прикладных задачах дефектоскопии при техническом диагностировании они используются.

Современные технологии и аппаратура ультразвукового контроля являются актуальным и удобным инструментом для решения эксперт-

ных задач. Возможность документирования результатов контроля при техническом диагностировании оборудования позволяет дефектоскописту при необходимости воссоздать процесс контроля, более детально изучить структуру изделия в нужной зоне, проанализировать обнаруженные специалистом дефекты для принятия решения по оценке технического состояния конструкции.



*Рис. 1. Схема формирования в фазированной решетке результирующей волны с необходимым углом ввода в процессе интерференции составляющих ее волн*

Для определения возможностей ультразвукового контроля с преобразователями на фазированных решетках используется портативный ультразвуковой дефектоскоп OmniScan MXPА. Объектом ультразвукового контроля является стандартный образец цапфы ковша, транспортирующий расплавленный металл.

OmniScanMXPА – это модульный дефектоскоп на ультразвуковых фазированных решетках от фирмы OLYMPUS. OmniScanPA – портативное устройство, с возможностью как ручного, так и автоматического контроля дефектов. OmniScan позволяет производить полномасштабное секторное сканирование объектов со сложной геометрией и сохранять полученный результат. Не нуждается в дополнительных механических приспособлениях.

Перед началом проведения контроля необходимо проверить наличие на месте проведения контроля необходимых технологических условий:

- температура окружающей среды и объекта в диапазоне от минус 5 до плюс 50°С;
- напряжение в питающей сети 220 Vплюс/минус 10 %;
- чистота обработки контактной поверхности объектов не грубее Rz40.

Для получения секторного сканирования располагаем датчик на торцевой поверхности цапфы, центр зоны сканирования в геометрическом центре цапфы. Предварительно нужно покрыть торцевую по-

верхность цапфы контактной жидкостью, затем можно провести контроль. Контроль всего объема производится поворотом датчика на  $360^\circ$  вокруг оси цапфы.

На рис. 2 видно появление устойчивого промежуточного сигнала, т. е. сигнал, отраженный от эталонного отражателя.

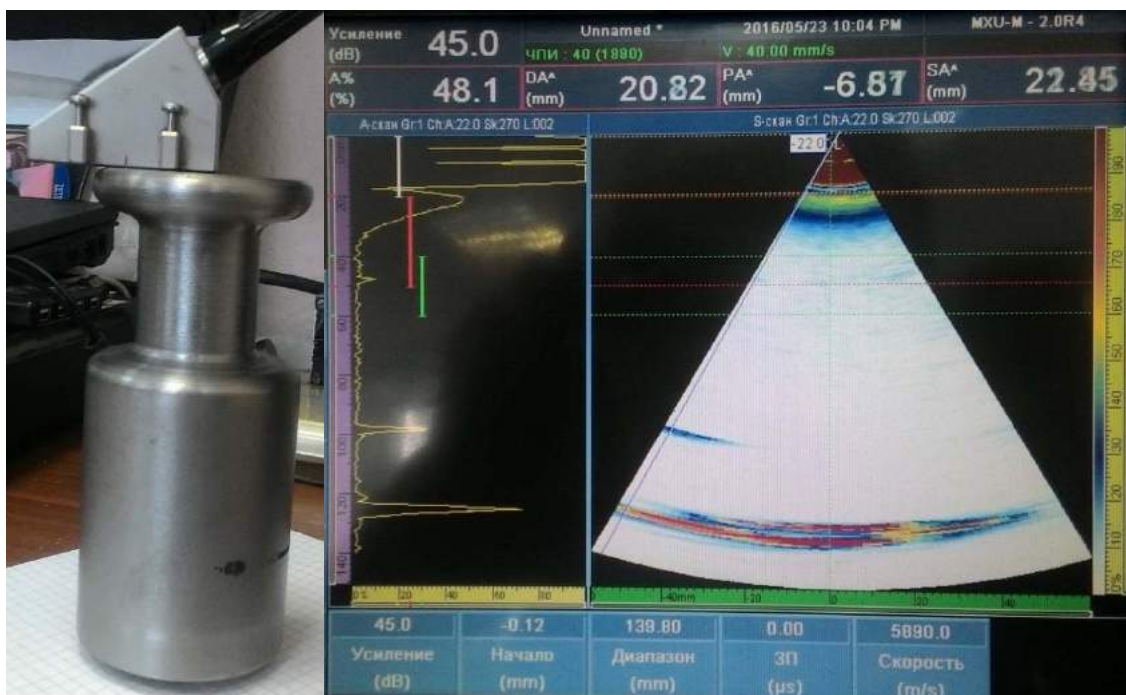


Рис. 2. Секторное сканирование при данном расположении датчика

Таким образом, определено, что ультразвуковой контроль на фазированных решетках имеет высокую скорость контроля, высокую вероятность обнаружения дефектов, визуализация процесса контроля, использование одного датчика для всех углов, программное управление углом ввода УЗ, фокусным расстоянием и размером фокусного пятна, контроль одним маленьким многоэлементным датчиком под разными углами, большая гибкость в контроле объектов со сложной геометрией, высокоскоростное сканирование без механических приспособлений.

### Список информационных источников

1. Крылов Н. А. Электронно-акустические и радиометрические методы испытаний материалов и конструкций, Л.-М., 1963. – 123 с.
2. Ощепков П. К., Меркулов А. П. Интроскопия, М., 1967. – 123 с.
3. Осетров А. В. Обработка и реконструкция изображений в акустической томографии. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2001. – 72 с.
4. Капранов Б. И., Коротков М. М. Акустические методы контроля и диагностики: – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 200 с.

# ПРОГРАММА-ЭМУЛЯТОР САМОСИНХРОНИЗИРУЮЩИХСЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

*П.В. Сак, Ф.С. Ровенный, Г.В. Никонова*

*Омский государственный технический университет, г. Омск  
Научный руководитель: Никонова Г.В., к.т.н., доцент кафедры  
радиотехнические устройства и системы диагностики ОмГТУ*

В данной работе рассматривается преобразование последовательного двоичного кода в коды RZ, NRZ и Манчестер-II. Данные коды предназначены для передачи измерительной информации в неразрушающем контроле по каналам связи. Синхронизация тактовой частоты приемника и передатчика измерительных сигналов достигается использованием самосинхронизирующихся кодов RZ и Манчестер-II или передачей сигнала синхронизации совместно с кодом. Формирователь кодов позволяет производить передачу данных при использовании линий связи с различными параметрами [1].

Формирователь кодов можно реализовать различными способами, например, на дискретных аналоговых элементах или микросхемах. Такой способ реализации требует множества деталей, кроме того требуется сложная настройка устройства.

В качестве наглядного пособия для изучения работы преобразователя, создана программа эмулирующая работу формирователя сигналов, на основе входного цифрового сигнала и тактового генератора.

Структурная схема формирователя кодов состоит из следующих блоков:

- формирователь стробов;
- формирователь кода RZ;
- формирователь кода NRZ;
- формирователь кода «Манчестер-II»;
- блок выбора выходного сигнала.

Электрическое моделирование схемы было проведено в программе MicroCap 9. Были смоделированы формирователи кодов RZ, NRZ и Манчестер-II. В качестве генераторов стробов были использованы компоненты STIM1, этот же компонент был использован и при генерации входного кода [2].

В качестве примера рассмотрим результаты моделирования кода NRZ в программе MicroCap 9 (рис. 1).

Код NRZ снимается с Q выхода RS триггера.



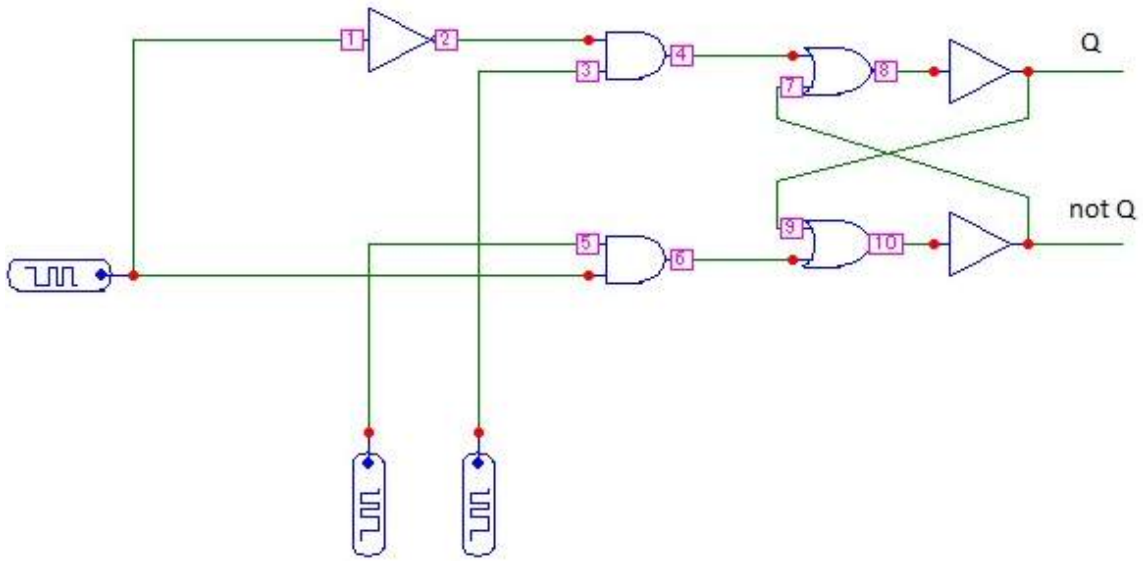


Рис. 1. Формирователь кода NRZ

Исходный и результирующий коды представлены на рис. 2. Здесь: d(1) – исходный код; d(9) – NRZ; d(5) и d(3) – стробы.

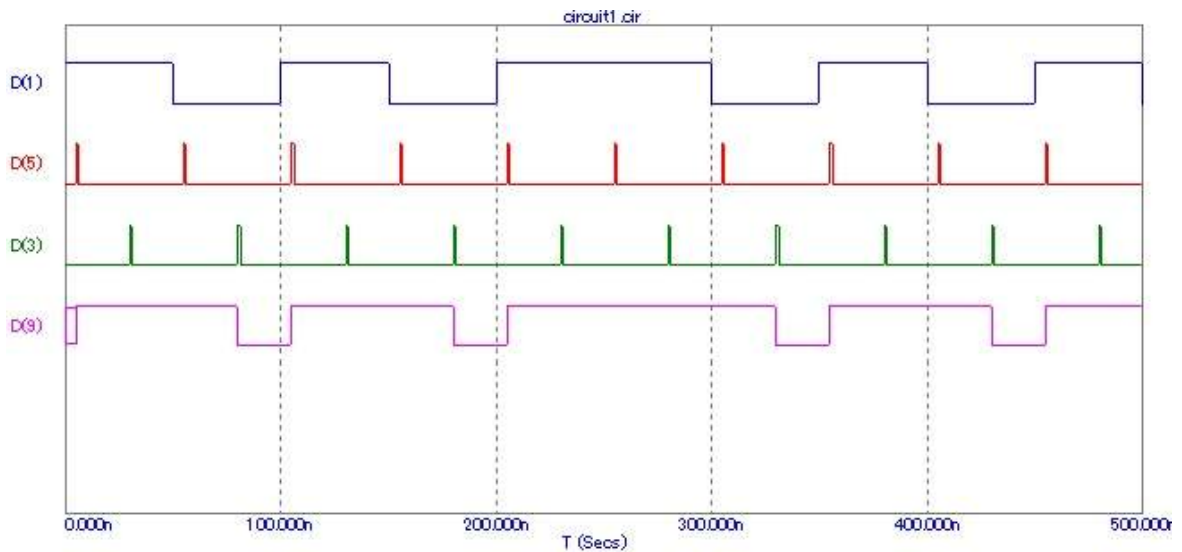


Рис. 2. Результат работы формирователя кода NRZ

Программа-эмулятор формирователя кодов написана на языке программирования Pascal в среде программирования Delphi [3].

Программа позволяет рассмотреть логику преобразования двоичного кода с синхросигналом в самосинхронизирующийся код.

В правой части пользовательского интерфейса имеется поле, на котором будут строиться графики сигналов. Сверху вниз: график сигнала



тактового генератора, график входного сигнала, график выходного сигнала. В левой части три кнопки управления, переключающие режимы работы эмулятора, они задают форму выходного сигнала соответственно названию. Эмулятор работает до заполнения графического поля, после этого останавливается.

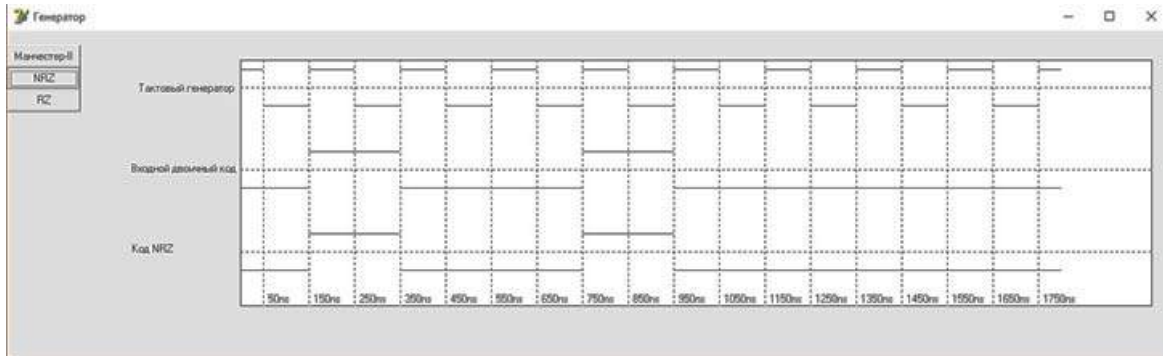


Рис. 3. Программа формирователя кодов и результат работы эмулятора в режиме генерирования кода NRZ

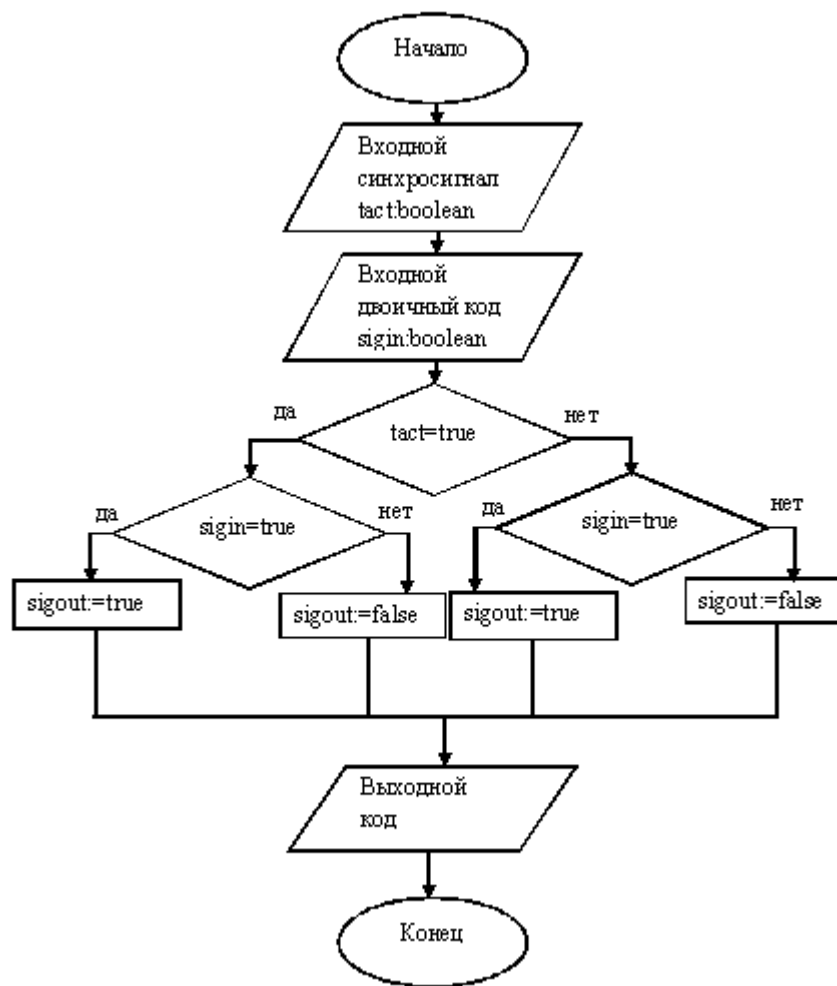


Рис. 4. Алгоритм формирования кода NRZ

Алгоритм преобразования двоичного кода в NRZ представлен нарис. 4. Код NRZ по выходному графику не отличается от входного сигнала, но в отличие от входного сигнала время каждого бита жестко определено формирователем, что позволяет приемнику по внутреннему таймеру определять значение сигнала.

По результатам моделирования сигналов можно сделать вывод:

- несомненным достоинством кода NRZ является его довольно простая реализация (исходный сигнал не надо специально кодировать на передающем конце, и декодировать на приемном конце), а также минимальная среди других кодов пропускная способность линии связи, требуемая при данной скорости передачи;

- к достоинствам кода Манчестер-II можно отнести высокую помехоустойчивость, так как код представляет собой фазовую модуляцию.

### **Список информационных источников**

1. Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. – М.: Издательство Эко-Трендз, 2002. – 260 с.
2. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2007. – 464 с.
3. Онлайн учебник по Delphi7 (Электронный ресурс). – Режим доступа: <http://delphi.support.uz/> 01.10.2016.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ УГЛЯ

*А.С. Сатанова*

*Карагандинский государственный технический университет  
Научный руководитель: Сергеев В.Я., к.т.н., кафедры приборостроения*

На современном этапе развития научных исследований все более актуальными становятся проблемы разработки математических методов построения моделей исследуемых объектов и создания инструментальных средств с помощью которых теоретические результаты, полученные применительно к анализу систем, могут быть реализованы в практических задачах и освоены в возможно более широких областях применения [1].

Транспортная инфраструктура – одна из важнейших инфраструктур, обеспечивающих жизнь предприятия.

В горно-обогатительной отрасли проблемы, связанные с ритмичностью и согласованностью процессов, являются актуальными по причине того, что интенсивность производства и потребления сырья у отдельных подразделений предприятия разная. Согласованность процессов характеризуется тем, что за одинаковый промежуток времени на всех этапах процесса должно проходить обработку одинаковое количество сырья. Ритмичность процессов подразумевает выполнение равных объемов работ за равные интервалы времени. Ритмичность обеспечивается постоянством и равенством затрат времени на производство каждой единицы продукции, т. е. повторяемостью частей процессов через определенные промежутки времени.

Отсутствие принципов согласованности и ритмичности в работе предприятия приводит к экономическим потерям – к простоям цехов и участков, образованию и увеличению запасов на промежуточных складах.

Математическая модель – математическое представление реальности, один из вариантов модели, как системы, исследование которой позволяет получать информацию о некоторой другой системе [2].

Для создания системы, позволяющей давать информацию о другой системе необходимо осуществление информационно-измерительной системы, позволяющей получить данные для математического моделирования.

К особенностям такой системы относятся:

- - разделение функций накопления и обработки данных между ПЛК и SQL-сервером баз данных;
- гибкость разработки новых форм отчетов и рапортов;

- возможность интеграции данных от других систем, например локальных АСУ ТП, систем учета;

- гибкость расширения количества АРМ руководителей.

Структура системы:

Особенности системы:

- разделение функций накопления и обработки данных между ПЛК и SQL-сервером баз данных;

- гибкость разработки новых форм отчетов и рапортов;

- возможность интеграции данных от других систем, например локальных АСУ ТП, систем учета;

- гибкость расширения количества АРМ руководителей;

- нижний уровень: датчики и измерительные преобразователи; локальные системы АСУТП и системы учета, предоставляющие информацию в стандартизированном формате;

- средний уровень: программируемый логический контроллер, обеспечивающий прием и первичную обработку импульсных сигналов конвейерных весов о расходах материальных потоков;

- верхний уровень: информационный сервер, осуществляющий при помощи специализированного ПО в SQL базе данных сбор, накопление и выдачу текущих и итоговых данных о ходе производства на АРМы диспетчеров и руководителей; источник бесперебойного питания, обеспечивающий электропитание ПЛК и информационного сервера; коммуникационное оборудование для интеграции с существующей ЛВС комбината; автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчеров и руководителей и программное обеспечение, необходимое для их функционирования.

Таким образом, получая информацию на низшем уровне системы, программируемый логический контроллер среднего уровня, формируя математическую модель, обеспечивает согласованность и ритмичность в работе предприятия, а именно в работе транспортных потоков угля на обогатительных фабриках.

### **Список информационных источников**

1. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-metodov-i-sredstv-matematicheskogo-modelirovaniya-tekhnologicheskikh-skhem-s-ispo#ixzz4LH3FrNs> 701.10.2016
2. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA> 01.10.2016

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ЛИНЕЙНОГО ТРУБОПРОВОДА

*А.И. Сечин, Ю.В. Анищенко, А.И. Попов*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Сечин А.И., д.т.н., профессор кафедры экологии  
и безопасности жизнедеятельности ТПУ*

Обеспечение безопасной и надежной эксплуатации магистральных газопроводов считается главной задачей предприятий, которые используют газотранспортные системы. От этой задачи зависит безопасность не только производственного персонала и жителей близлежащих населенных пунктов, а также безопасное функционирование самих газовых магистралей. Анализ аварийности на магистральных газопроводах [1] показывает, что наиболее часто последствиями аварий на подобных объектах являются возгорания и взрывы. Поэтому поиск перспективных путей развития такого вопроса как расчет пожарных рисков линейного трубопровода представляет собой актуальную задачу, как в области предупреждения чрезвычайных ситуаций, так и устойчивого функционирования предприятия.

В качестве объекта исследования в данной работе рассматривается участок магистрального газопровода (длина 120 км, диаметр трубы 1020 мм, рабочее давление 3,5–3,7 МПа), расположенный на территории Томской области. Для более детальной оценки пожарных рисков предлагается разделить участок газопровода на отрезки в соответствии с топографической обстановкой местности, через которую прокладывается трубопровод. В качестве факторов, влияющих на величину риска, учитываются такие особенности местности, как наличие возвышенностей, оползневых явлений, торфяников, болот, и водоемов.

Для определения величины пожарных рисков линейного трубопровода предлагается составить дерево событий для каждого выделенного участка. Построение дерева событий для чрезвычайной ситуации с возникновением очага возгорания и развитием пожара позволяет с высокой степенью вероятности спрогнозировать развитие событий при отказе оборудования [2]. Данный метод позволяет нам выявить слабые места в технолого-производственном процессе, а так же получить более полное представление о поведении самой системы в моменты выхода оборудования из его устойчивого функционирования, что и является предшествующим фактором развития ЧС.

Главным событием при оценке пожарного риска на магистральном газопроводе является истечение газа вследствие разгерметизации газо-

провода. Оно может быть индуцировано несколькими исходными событиями, каждое из которых может привести к главному событию и требует дальнейшего развития: истечение газа из системы на возвышенности; утечка газа на оползневых участках; несанкционированное вскрытие; утечка газа в торфяной местности; истечение газа из системы в болотистой местности; аварийная ситуация в русле реки. Были получены следующие величины рисков типовых участков магистрального газопровода:

- Истечение газа из системы на возвышенности –  $1,4 \cdot 10^{-4}$  год $^{-1}$ .
- Утечка газа на оползневых участках –  $1,3 \cdot 10^{-2}$  год $^{-1}$ .
- Утечка газа в торфяной местности –  $1,2 \cdot 10^{-2}$  год $^{-1}$ .
- Истечение газа из системы в болотистой местности –  $1,2 \cdot 10^{-2}$  год $^{-1}$ .
- Аварийная ситуация при переходе русла реки –  $1,3 \cdot 10^{-2}$  год $^{-1}$ .

Общая величина риска главного события «Истечение газа из системы» линейного трубопровода равна  $2,05$  год $^{-1}$ .

Из числа основных поражающих факторов, присущих авариям на магистральных газопроводах, к наиболее значимой по размеру зоны поражения относится термическая радиация от горящих струй газа при воспламенении топливно-воздушной смеси [1]. Поэтому считается целесообразным рассчитать интенсивность теплового излучения при разных вариантах удаленности от трассы газопровода и соотнести их со степенью поражения людей и вероятностью смертельного исхода [3]. В результате расчетов был построен график зависимости дозы теплового излучения от расстояния оси газопровода (рис. 1).

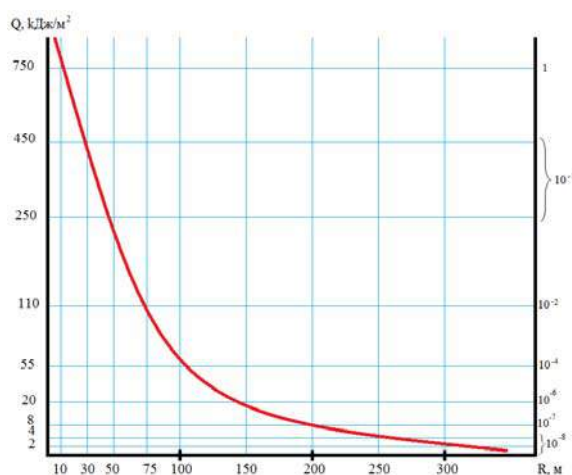


Рис. 1. Зависимость дозы теплового излучения от расстояния оси газопровода

Таким образом, минимальное безопасное расстояние 300 м [4] достаточно для того, чтобы минимизировать риск смертельного исхода при возникновении чрезвычайной ситуации. В случае утечки газа и его возгорания доза теплового излучения на границе этого участка составит порядка  $2,5 \text{ кДж/м}^2$ , что не может нести никакой отрицательной нагрузки на организм человека.

На всем своем протяжении газопровод имеет просеку шириной от 50 до 75 метров. Это значит, что полученные нами данные применимы ко всем типовым участкам этого газопровода в радиусе 75 метров от его оси. Полученные вероятности смертельного исхода для радиуса более 75 метров могут быть завышены, ведь лесной массив играет роль экрана и может ограждать от воздействия теплового излучения, а значит, и снижать последствия ее воздействия на человека.

Для иллюстрации вышеизложенного изобразим схему потенциального территориального риска при действии дозы теплового излучения на участке газопровода с указанием вероятности наступления смертельного исхода (рис. 2).

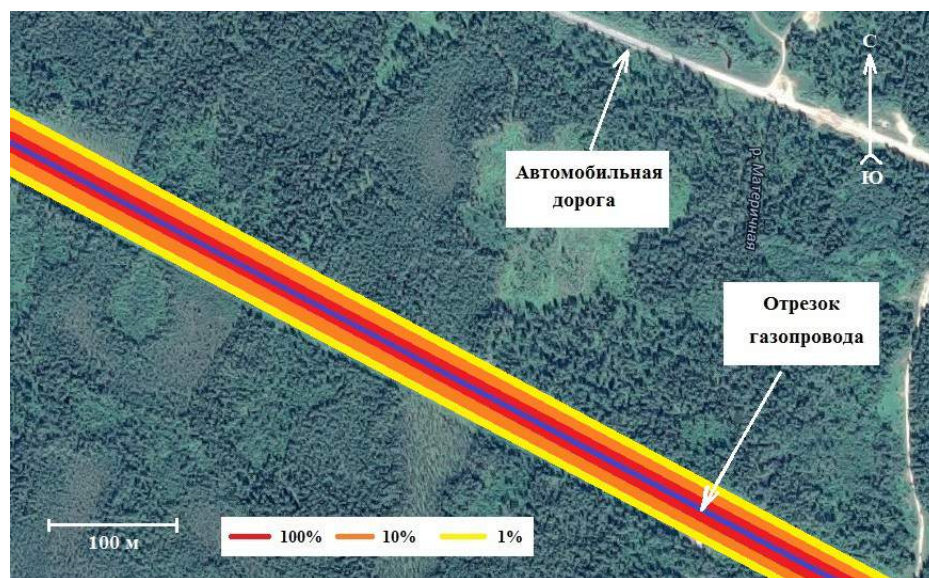


Рис. 2. Зона потенциального территориального риска линейного газопровода

Составим унифицированный алгоритм расчета пожарных рисков магистрального газопровода:

- Шаг 1. Оценка по карте рельефа трассы газопровода. Разделение трассы на типовые участки.
- Шаг 2. Оценка удаленности от трассы селитебной зоны и зон промышленно-транспортного назначения.

- Шаг 3. Оценка сложившейся ситуации по трассе с использованием расчетных величин риска для типовых участков магистрального газопровода.

- Шаг 4. Разработка мероприятий, направленных на минимизацию величины риска по трассе трубопровода.

- Шаг 5. Разработка соответствующей документации.

Таким образом, в данной работе были рассмотрены вопросы обеспечения безопасной транспортировки природного газа в России. Изучив процесс функционирования линейного газопровода с детальным изучением типовых участков трубопровода на различных условиях местности, были получены расчетные величины пожарных рисков. В дальнейшем, при расчете пожарного риска любого другого участка линейного газопровода, можно проводить его детализацию, а также использовать полученные в данной работе расчетные величины риска аналогичных типовых участков.

#### **Список информационных источников**

1. Савина А.В., Сумской С.И., Лисанов М.В. Анализ риска аварий на магистральных трубопроводах при обосновании минимальных безопасных расстояний // Безопасность Труда в Промышленности. – 2012. – № 3. – С. 58–63.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска.
3. ГОСТ Р 12.3.047 – 98 ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
4. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85\*.



## **АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ ПИТАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ БЕТАТРОНОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ**

*О.С. Симонова, С.В. Касьянов, А. Московченко, GuoXingwang*

*Томский политехнический университет, г.Томск  
Научный руководитель: Вавилов В.П., д.т.н, профессор, руководитель  
лаборатории № 34 Тепловых методов контроля ТПУ*

Портативные бетатроны широко используются в различных отраслях промышленности, в особенности, в дефектоскопии различных установок и компонентов [1, 3], в досмотровых комплексах [2], в промышленных томографах [4], а также в медицинской диагностике и лечении злокачественных опухолей [5, 6]. Преимуществами бетатронов являются простота конструкции, незначительная по сравнению с другими ускорителями масса, удобство в эксплуатации и относительно невысокая стоимость.

Томский политехнический университет является единственным в мире разработчиком портативных бетатронов, осуществляя полный цикл производства: от проектирования узлов ускорителя до установки готовой продукции у заказчика.

Качественная работа ускорителя зависит от теплового режима как излучателя, так и блока питания. Бетатронная установка работает в цикле «нагрев-охлаждение», причем время, необходимое для проведения полного цикла, составляет соответственно 45 и 15 минут.

В каждом бетатроне предусмотрена воздушная система охлаждения, отводящая тепло от перегретых компонентов; к ним относятся обмотка, стойки и ярма. Проблемным является отвод тепла от областей, которые не соприкасаются с охлаждающим воздухом. К ним относятся магнитопровод, состоящий из центральных полюсов с центральными вкладышами, которые разделены диэлектрическими прокладками, а также обратный магнитопровод, представляющий собой шесть стоек, которые являются частью внешнего корпуса. Магнитопроводы набраны из пластин трансформаторной стали, склеенных между собой эпоксидным компаундом.

Большинство использованных материалов имеет невысокий коэффициент теплопроводности, поэтому отвод тепловой энергии путем теплопроводности незначителен. До последнего времени проектирование блоков питания осуществлялось с использованием стандартных расчетных методов, поэтому сохраняется необходимость оптимизации систе-

мы охлаждения излучателя и поиска конструкторских решений, которые снизят нагрев вышеуказанных элементов.

Настоящее исследование посвящено использованию метода инфракрасной (ИК) термографии для анализа теплового режима блока питания бетатрона с энергией 7,5 МэВ.

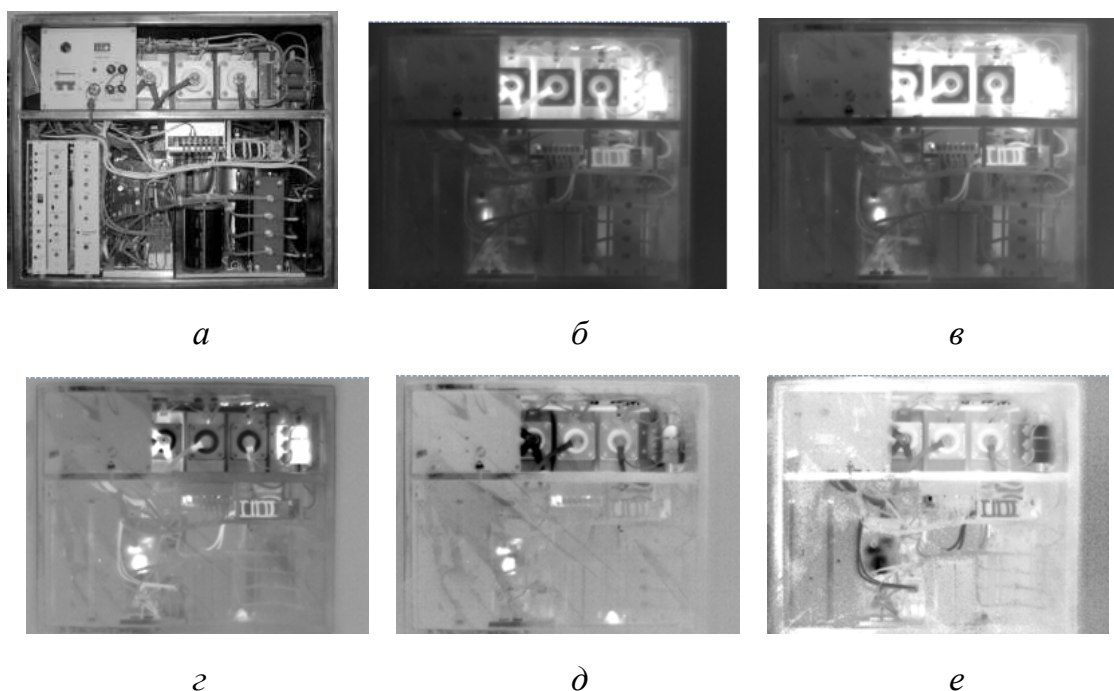
ИК термография как техника бесконтактного анализа тепловых полей объектов по их тепловому (ИК) излучению широко используется в электротехнике и радиоэлектронике, в том числе, для снятия температурных полей узлов и изделий в процессе функционирования. Обзор возможностей данного метода сделан в [7]. Следует отметить, что подавляющее большинство применений ИК термографии связано со стационарным режимом. Считается, что основной проблемой ИК диагностики радиоэлектронных устройств является необходимость определять коэффициент излучения, который весьма существенно изменяется от одного элемента к другому и искажает температурные отсчеты. В данном исследовании мы рассматриваем сравнительно малоисследованный аспект ИК диагностики плат и стоек электронной аппаратуры, а именно, анализ динамики изменения температуры, что позволяет с использованием современных методов обработки нестационарных временных рядов: Фурье и вейвлет анализа, метода анализа главных компонент и др. детально анализировать процесс изменения температуры отдельных блоков и компонент в нестационарном режиме.

Блок питания малогабаритного бетатрона мощностью 7,5 МЭВ (Рис. 1а) исследовали с помощью тепловизора NEC Avio TH-9100, обеспечивающего температурную чувствительность до 30 мК (в режиме накопления) при формате термограмм 320×240. Блок питания был закрыт полиэтиленовой пленкой толщиной 60 мкм для имитации условий конвекции внутри блока, близких к реальным; при этом спад температурного сигнала вследствие поглощения в пленке не превышал 1,5 %. При выбранной частоте записи 5 Гц и полном времени контроля 10 минут записывали 300 термограмм в сессии.

Примеры результатов контроля, полученных с помощью программы ThermoFit Pro (Томский политехнический университет), показаны на рис. 1, б–е. На исходной термограмме, зафиксированной через 1 минут после включения бетатрона (без излучения) отчетливо виден перегретый отсек с тремя тиристорами.

Применение статистического метода анализа главных компонент (МАГК), применяемого ко всей последовательности из 300 термограмм, позволило выделить в первых трех главных компонентах основные тепловые феномены. Первая компонента (рис. 1, в) аналогична основному термоизображению, поскольку показывает зоны с наибольшей ампли-

тудой температурных аномалий. Вторая компонента выделяет менее значимы зоны, в то время как третья компонента показывает элементы блока питания со слабыми температурными сигналами. Напомним, что МАГК сводит последовательность из  $N$  исходных изображений к последовательности  $N$  компонент, из которых только 3–5 первых компоненты отражают особенности текстуры исследуемых изображений, а остальные компоненты содержат шум. На рис. 1, *е* приведен результат применения специального алгоритма обработки температурных сигналов, позаимствованный из известного метода определения теплопроводности Паркера. На приведенном изображении пиксельные амплитуды выражены в номерах термограмм, где температура нагрева достигает половины своего максимального значения. Таким образом в данном изображении, называемом таймограммой, в закодированном виде содержится информация о темпе разогрева и тепловой инерции отдельных элементов блока питания.



*Рис. 1. Результаты теплового контроля процесса разогревания элементов блока питания бетатрона на МЭв: а – фотография блока питания; б – термограмма через 10 минут после включения; в – после применения метода анализа главных компонент (МАГК), 1-я компонента; г – МАГК, 2-я компонента; д – МАГК, 3-я компонента; е – коррелограмма*

В данном изображении, называемом таймограммой, в закодированном виде содержится информация о темпе разогрева и тепловой инерции отдельных элементов блока питания.

Отметим также, что визуальные преимущества МАГК наиболее проявляются в псевдоцветовых изображениях, получаемых с помощью программы ThermoFit Pro (на рис. 1) приведены полутонные изображения. Основным выводом из выполненных исследований является демонстрация возможностей анализа динамики разогрева элементов блока питания бетатрона, что позволяет более обоснованно подходить к проектированию и выбору дизайна электронных блоков и плат.

### **Список информационных источников**

1. Павловский А.И., Кулешов Г.Ф. и др. // Разработка и практическое применение электронных ускорителей в народном хозяйстве: Труды Всесоюзной конференции. – Томск, 1972. – С.226–228.
2. Касьянов С.В. Применение бетатронов в радиографических досмотровых системах. // Известия Томского политехнического университета. – 2008. Т. 312. – № 2. – С.134–137.
3. Ананьев Л.М., Чахлов В.Л., Штейн М.М. и др. Малогабаритные бетатроны и их применение в дефектоскопии // Дефектоскопия. – 1968. – № 6. – С. 60–64.
4. Вайнберг Э.И., Вайнберг И.А., Касьянов В.А., Чахлов В.Л. Штейн М.М. Опыт применения бетатронов НИИ интроскопии при ТПУ в составе компьютерных томографов «проминтро». // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 32–35.
5. Попович В.И., Зырянов Б.Н., Кицманюк З.Д., Мусабаева Л.И. Интраоперационная и электронная терапия опухолей головы и шеи. – Томск: МГП «РАСКО», 1999. – 145 с.
6. Зырянов Б.Н., Афанасьев С.Г., Завьялов А.А., Мусабаева Л.И. «Интраоперационная лучевая терапия» – Томск: STT, 1999 – 288 с.
7. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Спектр, 2012. – 545 с.

# **ОКИСЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРИМЕСЕЙ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ ОЧИСТНОГО АППАРАТА С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

*К.С. Скорюпина*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Сечин А.И., д.т.н., профессор кафедры экологии  
и безопасности жизнедеятельности ТПУ*

Разряды статического электричества, способные стать причиной чрезвычайных. Энергоресурс разрядов статического электричества ограничен объёмами аппаратов, и именно в этих объёмах и в технологическом оборудовании «строятся» электростатические электростанции.

С учетом того, что в примесь воздуха с взвешенными веществами, поступающими в очистной аппарат, входят легковоспламеняющиеся пары растворителей, для обеспечения пожаробезопасной обстановки на хим-фарм производствах, необходимо предусматривать дополнительные устройства и способы для удаления паров растворителя и частиц пыли в циклонных аппаратах. При воспламенении горючих смесей электрическими разрядами необходимо учитывать тепловые явления на электродах, износ электродов и т. п. [1].

Совокупность всех этих факторов обуславливает случайный характер процесса воспламенения. Экспериментальное определение минимальных энергий воспламенения горючих смесей показывает, что отсутствует четкая граница между воспламеняющимися и невоспламеняющимися конденсированными разрядами [2].

Учитывая вышеизложенное, необходимо рассмотреть протекания химических реакции в коронном разряде (в разряде электростатических полей) с целью улавливания паров растворителей, рассмотреть методику расчета нейтрализатора статического электричества и возможность ее применения в технологических аппаратах, а также определить значимость рассматриваемых вопросов для обеспечения пожарной безопасности на производстве.

Для определения возможности протекания процесса окисления в разряде электростатических полей необходимо знать, каким будет конечный результат процесса. Проанализируем химические каталитические реакции разложения паров спирта методом термодинамического расчета. С помощью термодинамических методов определяются условия, при которых данный процесс становится возможным, устойчивым в тех или иных условиях, выясняется возможность уменьшения или

предотвращения получения образующихся в реакциях веществ. Речь идет об ускорении или подавлении побочных реакций.

Для расчета термодинамических параметров процесса окисления этилового спирта составлены реакции равновесия:

1.  $C_2H_5OH + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$ ;
2.  $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_2 + H_2\uparrow$ ;
3.  $C_2H_5OH \rightarrow CH_4 + H_2O + C$ ;
4.  $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + CO + H_2\uparrow$ ;
5.  $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$ ;
6.  $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_2 + H_2O + H_2\uparrow$ .

Число независимых реакций равно числу веществ ( $C_2H_5OH$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $C_2H_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C$ ) в системе минус число разнородных атомов ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $C$ ), из которых образованы реагенты, т. е. число независимых реакций равно шести ( $9 - 3 = 6$ ). Следовательно, все представленные реакции являются независимыми.

Термодинамические расчеты осуществлялись по методу расчета равновесия, учитывающего зависимость  $\Delta H = f(T)$ , с помощью которого были введены уравнения  $\lg K_p = f(T)$ , и сосчитаны  $\Delta H$ ,  $\lg K_p$  в интервале температур 0–100 °С[3].

Влияние температуры на константу равновесия описывается уравнением Вант–Гоффа:

$$\frac{d \lg K_p}{dT} = \frac{\Delta H^0}{RT^2}; \quad (1)$$

где  $\Delta H^0$  – стандартный тепловой эффект реакции;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура в °К;  $K_p$  – константа равновесия.

В случае точного расчета и при больших температурных интервалах уравнение (1) учитывает зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Для этого подставим уравнение (2) в уравнение закона Кирхгофа (3):

$$\Delta C_p = \Delta\alpha + \Delta\beta \cdot T + \Delta c \cdot T^2 + \Delta c' \cdot T^{-2}; \quad (2)$$

$$\left( \frac{d(\Delta H)}{dT} \right)_p = \Delta C_p. \quad (3)$$

Интегрируя, получим:  $\Delta H = f(T)$  в конечной формуле:

$$\Delta H_T = \Delta H^0 + \Delta\alpha \cdot T + \frac{1}{2} \Delta\beta \cdot T^2 + \frac{1}{3} \Delta c \cdot T^3 - \frac{\Delta c'}{T}. \quad (4)$$

Сочетая уравнение (1) с уравнением (3) и интегрируя, получим уравнение в технической системе координат (5):

$$\lg K_p = \frac{\Delta H^0}{2,303 \cdot RT} + \frac{\Delta \alpha}{R} \cdot \lg T + \frac{\Delta \beta}{2,303 \cdot 2R} \cdot T + \\ + \frac{\Delta c}{2,303 \cdot 6R} \cdot T^2 + \frac{\Delta c'}{2,303 \cdot 2R} \cdot T^{-2} + J''.$$

В соответствии с уравнением изобары химической реакции:

$$\Delta G_T = -RT \lg K_p = -2,303 \cdot RT \ln K_p; \quad (6)$$

$$\Delta G_T = \Delta H^0 - \Delta \alpha T \lg T - \frac{1}{2} \Delta \beta \cdot T^2 - \frac{1}{6} \Delta c \cdot T^3 - \frac{1}{2} \frac{\Delta c'}{T^{-1}} + J \cdot T, \quad (7)$$

где,  $J = -2,303 \cdot R \cdot J''$ , в уравнениях (2)–(6) неизвестными величинами являются  $\Delta \alpha$ ,  $\Delta \beta$ ,  $\Delta c$ ,  $\Delta c'$ ,  $\Delta H_{298}$ ,  $\Delta G_{298}$ ,  $\Delta H^0$ ,  $J$ , которые находятся в соответствии уравнений:

$$\Delta H_{298} = \Sigma \Delta H_{298(\text{прод})} - \Sigma \Delta H_{298(\text{исх})}; \quad (8)$$

$$\Delta H_{298} = \Sigma \Delta H_{298(\text{прод})} - \Sigma \Delta H_{298(\text{исх})}; \quad (9)$$

$$\Delta \alpha = \Sigma \Delta \alpha_{(\text{прод})} - \Sigma \Delta \alpha_{(\text{исх})}; \quad (10)$$

$$\Delta \beta = \Sigma \Delta \beta_{(\text{прод})} - \Sigma \Delta \beta_{(\text{исх})}; \quad (11)$$

$$\Delta c = \Sigma \Delta c_{(\text{прод})} - \Sigma \Delta c_{(\text{исх})}; \quad (12)$$

$$\Delta c' = \Sigma \Delta c'_{(\text{прод})} - \Sigma \Delta c'_{(\text{исх})}. \quad (13)$$

Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ ,  $c'$  и  $\Delta H_{298}$ ,  $\Delta G_{298}$  берутся с учетом стехиометрических коэффициентов уравнения рассчитываемых реакций. Для нахождения  $\Delta H^0$ , которые являются экстраполяционной константой подставим в уравнение (1) значения  $\Delta \alpha$ ,  $\Delta \beta$ ,  $\Delta c$ ,  $\Delta c'$  при  $T = 298$  °К и  $\Delta H_{298}$  получим в случае высоких температур:

$$\Delta H^0 = \Delta H_{298} - \left( \Delta \alpha \cdot 298 + \frac{\Delta \beta}{2} \cdot 298^3 - \frac{\Delta c'}{298} \right). \quad (14)$$

Для нахождения  $J$  подставим значения  $\Delta H^0$  (14),  $\Delta G_{298}$  и  $T = 298$  °К в уравнение (7), получим:

$$J = \frac{\Delta G_{298} - \Delta H^0}{T} + \Delta \alpha \cdot \lg T + \frac{1}{2} \Delta \beta \cdot T + \frac{1}{6} \Delta c \cdot T^2 + \frac{1}{2} \Delta c' \cdot T^{-2} = \\ = \frac{\Delta G_{298} - \Delta H^0}{298} + \Delta \alpha \cdot 5,69 + \Delta \beta \cdot 149 + \Delta c \cdot 14801 + \Delta c' \cdot 5,63 \cdot 10^{-6}. \quad (15)$$

Подставим значения (8)–(15) в (5) и получим:

$$\ln K_p = \frac{-\Delta H^0/T + \Delta \alpha \cdot 2,3 \ln T + \frac{1}{2} \Delta \beta \cdot T + \frac{1}{2} \Delta c^{-1} \cdot T^{-2} + J''}{2,303 \cdot R}. \quad (16)$$

По результату термодинамического расчета каждой реакции построены графики зависимости константы равновесия  $\ln K_p$  от температуры среды, которые изображены на рис. 1 [4].

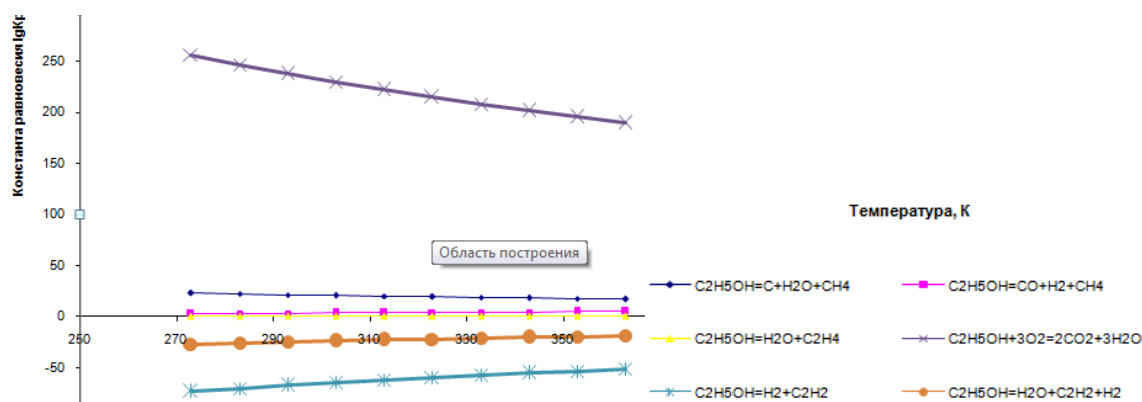


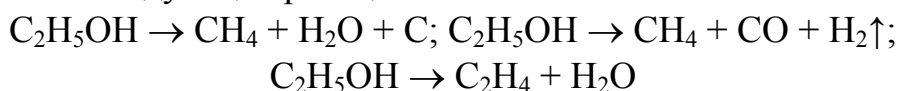
Рис. 1. Зависимость константы равновесия реакции окисления этилового спирта от температуры среды

Разложение реакций может идти по нескольким направлениям. Все зависит от энергии, которая прилагается к этим процессам.

Из рис. 1 видно, что реакции:

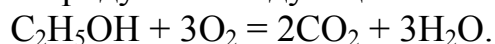


не осуществимы, так как имеют отрицательное значение константы равновесия  $\ln K_p$  и протекание реакции в сторону образования продуктов невозможно. Следующие реакции:



имеют низкую вероятность протекания в сторону образования продуктов.

Реакция с высокой вероятностью протекания до конца в сторону образования конечных продуктов следующая:



После анализа графиков зависимости константы равновесия от температуры среды были определены направления разложений реакций. Из графиков видно, что одни реакции протекают до конца в сторону образования конечных продуктов, а другие маловероятны или невозможны.

Анализ реакции позволяет сделать вывод, что для интенсификации процесса следует обеспечить коронный разряд статического заряда, который возникает в процессе очистки в циклоне пылевоздушной смеси от твердой фазы и через заземлитель уходит на землю. Энергия, выделяемая в этом разряде, будет достаточной для окисления паров спирта, тем самым минимизируя технологический выброс по паровой составляющей в окружающую среду.



Методика расчета индукционного нейтрализатора [5] создана на базе метода расчета молниезащиты, которая является средством защиты от атмосферного статического электричества, с использованием инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений – РД 34.21.122–87[6].

Согласно расчетам, для предотвращения возникновения разрядов в циклоне ЦН15–600 рационально установить нейтрализатор статического электричества индукционного типа, имеющий 85 металлических игл, которые расположены на внешней поверхности выхлопной трубы циклонного аппарата. При взаимодействии частиц и ионов воздуха уровень статической электризации в циклоне снизится до безопасного значения.

Затрагивая область пожарной безопасности на химическом, фармацевтическом производствах, на основе вышеизложенного можно сделать вывод, что рассмотрение вопроса предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с взрывами и пожарами, необходимо проводить в комплексе с выбором определенной модели очистного аппарата, который удовлетворяет требования безопасности с учетом вида производственной деятельности. В выбранном очистном аппарате должна присутствовать система разделения воздушного потока от примесей с сохранением скорости движения потока. В нашем случае, необходимо использование коронного разряда, на котором происходит отделение воздуха от паров растворителя.

#### **Список информационных источников**

1. Кораблев В.П. Электробезопасность на химических предприятиях. Справочник. – М.: Химия, 1991. – 237 с.
2. Кораблев В. П., Устройства электробезопасности. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 88 с.
3. Косинцев В.П., Сечин А.И., Бордунов С.В., Куликова М.В., Прокудин И.А., Косинцев М.В. Программа расчета равновесия химических реакций в широком интервале температур // Современные наукоемкие технологии. 2008. – № 4. – С. 62–64
4. Куликова М.В., Прокудин И.А., Буллер А.И., Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В. Анализ физико-химических процессов удаления солей жесткости энтальпийным методом расчета с применением приложения Excel // Фундаментальные исследования. 2010. – № 12. – С. 105–110.
5. Сечин А.И., Кырмакова О.С. Разработка методики расчета нейтрализатора статического электричества // Ползуновский вестник. 2014. – №4. – Т. 2.
6. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 55 с.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ СТАЛИ

*К.А. Соковец, В.В. Проботюк, К.Р. Муратов*

*Томский политехнический университета, г. Томск*

В работе были проведены малоцикловые испытания на растяжение, выполненные на трех намагниченных образцах стали канадского производства (табл. 1).

Таблица 1

*Характеристика образцов из стали канадского производства*

Химический состав, %					HRB	$a_{cA}$ (Charpy), J/cm <sup>2</sup>	$\sigma_y$ , МПа	$\sigma_u$ , МПа
C	Si	Mn	Cr	Ni				
0,13	0,21	0,64	0,075	0,08	90	143	597	627
Al	Cu	V	S	P				
0,025	0,188	0,018	0,015	0,024				
<i>Нормализованное состояние, балл зерна 7÷8 по ГОСТ 5639-82</i>								

Для проведения испытаний образцов из стали на растяжение была использована разрывная машина ИР 5047-50 (рис. 1), состоящая из нескольких механизмов: двигательного, передаточного, исполнительного, регистрирующего, управляющего.



*Рис. 1. Разрывная машина ИР 5047-50*

Прибор ИКН-М-2ФП представляет собой упрощённый вариант прибора типа ИКН, предназначенный для определения зон концентрации напряжений при экспресс-контроле малогабаритных изделий и узлов оборудования, в том числе при контроле в труднодоступных местах.

Были получены зависимости магнитоупругого сигнала при циклических нагрузках для трех образцов канадской стали с одинаковыми характеристиками. Образцы испытывали 100 циклов нагружения, в каждой серии испытаний, при различных амплитудах механических напряжений. Пример полученных данных представлен на рис. 2.

На диаграмме (рис. 2) наблюдается обратный пьезоэффект, это говорит о том, что при увеличении нагрузки в цикле, величина магнитоупругого сигнала уменьшается. Подобные данные были получены для трех образцов стали канадского производства для 100 циклов нагружений.

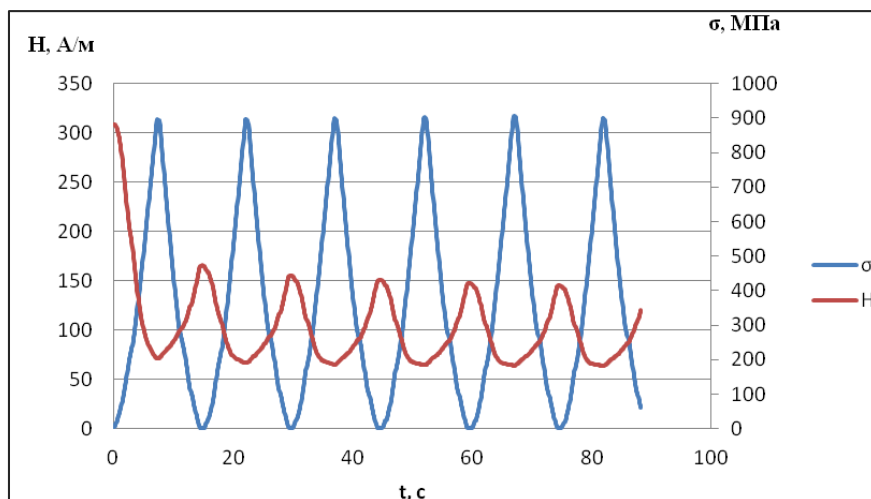


Рис. 2. Зависимость напряженности магнитного поля и изменения механических напряжений от времени первых шести циклов для образца при амплитуде механических напряжений  $\sigma = 300$  МПа

Для каждого образца были взяты параметры:  $h_p(\sigma_{\min})$ ,  $h_p(\sigma_{\max})$  — значение магнитоупругого сигнала в пиковых максимальных и минимальных точках нагрузки соответственно, по которым была построена зависимость от номера цикла для всех нагрузок. Пример такой зависимости представлен на рис. 3.

Для стали канадского производства диагностическим параметром предела выносливости может служить величина  $h_p(\sigma_{\max})$ . Для данной стали характерна высокая чувствительность магнитоупругого сигнала к величине механической нагрузки от 50 до 150 МПа, начиная с нагрузки от 150 до 500 МПа изменение магнитоупругого сигнала не значительно. При приближении к критическим нагрузкам, изменяется характер зависимости с убывающей на возрастающую.

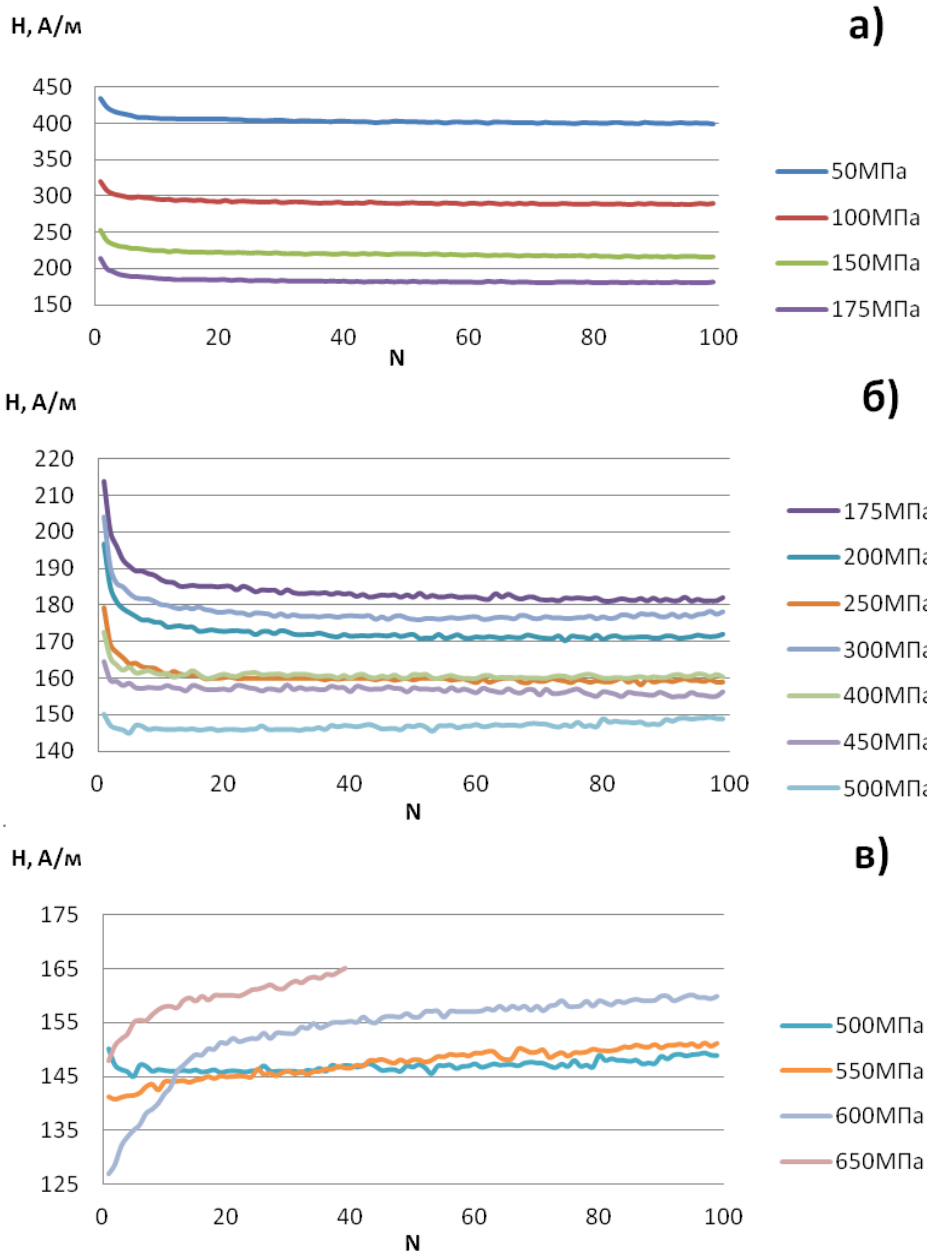


Рис. 3. Зависимость локального минимума  $h_p(\sigma_{max})$  напряженности поля от номера цикла при нагрузках от 50-175 МПа(а), при нагрузках от 175-500МПа(б), и при нагрузках от 500-650МПа(в) для образца стали канадского производства

### Список информационных источников

1. Новиков В.Ф., Тихонов В.П. К определению напряжений в лопатках турбин магнитоупругим методом // Проблемы прочности. 1981. – № 1. – С. 64–67.
2. Кулеев В.Г., Горкунов Э.С. Механизмы влияния внутренних и внешних напряжений на коэрцитивную силу ферромагнитных сталей // Дефектоскопия, 1997. – № 11. – С. 3–18.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

*В.С. Спасенко<sup>1</sup>, Н.С. Бессонов<sup>1</sup>, Е.В. Глиненко<sup>1</sup>, К.В. Мельнов<sup>2</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научные руководители:<sup>1</sup>Мойзес Б.Б., доцент кафедры физических методов  
и приборов контроля качества*

*<sup>2</sup>Гаврилин А.Н., доцент кафедры автоматизация и роботизация  
в машиностроении*

Надёжность металлорежущих станков определяется надёжностью каждого в отдельности узла. Поэтому при создании станка предусматриваются меры для повышения надёжности, такие как

- применение высоконадёжных систем управления;
- повышение надёжности функционирования механических элементов металлорежущих станков, при использовании новых материалов и покрытий, надёжной защиты узлов от СОЖ и стружки;
- снижение динамических нагрузок уменьшением перемещающихся масс, применением разнообразных демпферов;
- использование надёжных систем смазывания трущихся пар и мощных систем фильтрации СОЖ;
- использование эффективной системы диагностики и индикации отказов, обеспечивающей существенное снижение времени профилактики и устранении отказов;
- осуществление своевременных профилактических и регламентных работ по поддержанию нормального функционирования металлорежущих станков.

При эксплуатации технологического оборудования в следствии износа, вибрации, ударных нагрузок (например, при фрезеровании), других отрицательных факторов надёжность его снижается. В связи с этим стоит задача периодической диагностики станка для определения степени отклонения параметров оборудования от первоначальных.

Объектами диагностики могут стать как отдельные узлы, так и оборудование в целом. Одним из видов диагностики является вибродиагностика – метод диагностирования технологического оборудования, основанный на определении и анализе параметров вибрации, обычно создаваемой работающим оборудованием.

Существует ряд методов, позволяющих установить параметры вибрации, но все можно условно разделить на два вида – вибродиагностика:

- при осуществлении резания [1, 2];
- при имитации процесса резания [3, 4].

Каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки.

При первом способе требуется учитывать влияние на результаты жесткость всей технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД), степень износа инструмента и другие факторы.

Второй способ позволяет избежать точного анализа параметров технологической системы.

Имитацию процесса резания можно несколькими способами: механическим, электрическим, магнитным, пневматическим или гидравлическим и т. д. [3].

При механическом воздействии [2, 3] идет прямой контакт нагрузочного элемента с элементов системы СПИД, что требует надежных приспособлений для проведения испытаний.

Применение пневматических и гидравлических устройств требует наличие специального оборудования: компрессоров, гидравлических станций и т. д.

Устройства, относящиеся к электрическим и магнитным, обладают зачастую сложной конструкцией [4].

Цель работы разработать относительно простое по конструкции и эксплуатации устройство для испытания фрезерных станков.

#### **Список источников информации**

1. Gavrilin A., Moyzes B., Zharkevich O. Constructive and processing methods of reducing vibration level of the metalworking machinery elements. *Journal of Vibroengineering*, 17 (7), pp. 3495–3504.
2. Alexey Gavrilin, Boris Moyzes, Alexzander Cherkasov, Kirill Mel'nov, Xiaoliang Zhang. Mobile complex for rapid diagnosis of the technological system elements. *MATEC Web of Conferences* 79 (2016) 01078, <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20167901078>.
3. Пат. 1547971 СССР, МКП В23 9/00. Устройство для нагружения фрезерных станков / Г.Н. Выговский, В.Д. Ковальчук – Опубл. 07.03.90. – Бюл. № 9. – 4 с.
4. Амалицкий В.В. и др. Надежность машин и оборудования лесного комплекса: учебник для студентов специальности 170400. – М.: МГУЛ, 2002. – 279 с.

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ

*Н.В. Сусоева*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Лобанова И.С., ст. преподаватель кафедры  
физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

Неразрушающий контроль в производстве предоставляет возможность реализовывать непрерывный контроль – от операции к операции, также позволяет следить за правильностью изменения свойств заготовок, и деталей, и дальнейшей сборкой изделий; а в последствии проверить качество готового изделия.

Проследим неразрушающий контроль на каждом этапе производства изделий от состояния металла до готовой продукции на примере ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева». Металл контролируется на соответствие марки определенного сплава согласно принятой технологии, далее отливки и детали, а также готовые изделия контролируются на наличие различных дефектов и соответствие размеров также по принятой технологии.

Начнем с неразрушающего контроля металла, его осуществляют с помощью стилоскопа, микроскопа, твердомера и измерителя удельной электропроводности цветных металлов и сплавов вихретокового. Сначала рассмотрим стилоскоп, он предназначен для спектрального анализа сталей, цветных металлов и сплавов в видимой области спектра, с помощью него можно определить малое содержание труднообнаруживаемых элементов: углерода от 0,1 %, кремния 0,1 %, серы от 0,02 % и других элементов в сталях и сплавах. Микроскоп применяется для визуального наблюдения и фотографирования микроструктуры металлов и других прозрачных объектов. Измеритель удельной электропроводности цветных металлов и сплавов вихретоковый позволяет осуществлять сортировку сплавов цветных металлов по маркам, а также неразрушающий контроль механических свойств и качества термообработки изделий из цветных сплавов. Все эти приборы помогают правильно выбрать материал для будущего изделия.

Проконтролированный металл отправляется на литье. Отливки контролируются исключительно визуально. Осмотром отливки обнаруживаются поверхностные дефекты, такие как раковины, трещины, включение и др. После выявления дефектов принимается решение исправимы они или нет; если нет, то они отправляются на переплавку.

Далее отливка переходит на стадию обработки. Заготовка подвергается типовым операциям, например, таким как токарная, фрезерная,

шлифовальная, термическая и пр. обработка. На этих стадиях помимо визуально-оптического контроля используется измерительный контроль. Производится проверка таких параметров как размеры изделия, шероховатость поверхности, твердость металла и др. параметры. Дефекты выявляемые в результате проверки делятся на исправимые и отправляются на доработку, а также неисправимые и уходят на переплавку, также как и на этапе литья. Для выявления этих дефектов используются следующие инструменты и приборы: штангенциркуль, микрометр, нутромер, измерительный микроскоп, профилометр, твердомер, координатно-измерительная машина и др.

Рассмотрим поподробнее координатно-измерительную машину, которая представляет собой измерительную машину нового поколения, предназначенную для решения самого широкого круга задач размерного контроля в промышленности. На данном производстве эта машина используется для контроля деталей с множеством элементов, сложной конфигурацией и большим количеством одинаковых деталей, например корпуса. Это обусловлено тем, что для каждой детали пишется отдельная программа, трудности возникают из-за нехватки специалистов в этой области и особенностей в написании программы, такие например, как сложность в выборе осей, количества точек и т.д. Преимущество данной машины в значительной экономии времени, в неё закладываются все необходимые данные и после проверки выдается результат о соответствии или несоответствии изделий принятой технологии.

После вышеперечисленных обработок изделие отправляется на гальваническое покрытие. Толщина гальванопокрытия контролируется толщиномером покрытий, у каждого вида покрытия, например химическое окисление, кадмирование, хромирование, цинкование и пр. своя толщина. Также контролируется равномерность покрытия визуальным контролем.

Собранное готовое изделие неразрушающим контролем контролируется также как и отдельные детали, проверяются габаритные размеры, поверхностные дефекты и т. д.

На производстве реализуется также неразрушающий контроль неметаллических изделий: электронная составляющая выпускаемой продукции (визуальный контроль плат), изделия из пластмассы и т. д., Например, непропайка или заусенцы и раковины или трещины соответственно.

Подводя итоги можно сделать вывод о том, что на производстве на всех этапах изготовления продукции активно используется неразрушающий контроль. И это не случайно – использование данного вида контроля позволяет выявить дефекты на ранней стадии, что дает шанс



исправить этот дефект и даже если не исправить, то отправить на переработку. Тот и этот результат неразрушающего контроля дает возможность значительно сэкономить время и деньги.

На производстве применяются вышеупомянутые виды контроля, но чаще всего используется визуально-измерительный контроль. Это связано со спецификой производства, никакой другой контроль не даст нужного результата. Контроль производится не только в специально отведенном месте, но и непосредственно на местах рабочих; не только специально обученными людьми, но и самими рабочими. Таким образом, учитывая все эти особенности, широкая реализация визуально-измерительного контроля на данном производстве является самым рациональным решением.

В неразрушающий контроль на предприятии активно внедряются современные технологии, чего стоит только одна координатно-измерительная машина, она вмещает в себе чрезвычайно высокую производительность и надежность, повышенную точность и неограниченную универсальность применения. Также на заводе практически все операции обработки изделий автоматизированы и от рабочего требуется всего лишь выбрать нужную программу для станка, что значительно сокращает процент брака; в этом случае брак возникает в результате неправильно установленной программы или детали. Но и это еще не всё сэкономить время и увеличить точность позволяют цифровые измерительные приборы, которые приходят на замену стрелочным; теперь не нужно отсчитывать результат измерения по нескольким шкалам, а достаточно взглянуть на циферблат, где мгновенно появляется значение измеряемого параметра.

#### **Список информационных источников**

5. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве. – СПб: ГУАП. 2007. – 137 с.
6. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.

# **ПРИМЕНЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ**

*А.И. Тищенко*

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова, г. Новочеркасск  
Научный руководитель: Бандурин М.А., к.т.н., доцент кафедры  
общеинженерные дисциплины*

Оросительные системы России на площади 2,20 млн. га требуют реконструкции. Площадь земель с оросительной сетью в связи с моральным и физическим старением систем за период 1990-2015 гг. увеличились с 1,28 до 2,12 млн. га и составляет 47 % общей площади орошения, неиспользуемых осушенных – с 0,15 до 0,55 млн. га, или 9 % их наличия. Строительство новых орошаемых земель практически прекратилось, реконструкция гидромелиоративных систем выполняется не более чем на 5...10 % от требуемого объема [1].

Протяжённость распределительной сети оросительных систем Южного федерального округа составляет 99,1 тыс. км, в том числе межхозяйственные каналы 26,0 тыс. км. (26 %) и внутрихозяйственные каналы 73,1 тыс. км. (73 %), в основном это длительно эксплуатирующиеся каналы в земляном русле (около 9% общей протяженности) с КПД оросительной сети от 0,47 до 0,75, что ведет к потерям оросительной воды, поднятию уровня грунтовых вод, подтоплению агроландшафтов населенных мест и территорий. На площади около 500 тыс. га (23 %) орошаемых земель Южного федерального округа мелиоративное состояние оценивается как неудовлетворительное и продолжающееся ухудшаться [2].

Несвоевременно выявленные и не устранённые дефекты и повреждения нередко перерастают в серьезные конструктивные нарушения водопроводящих сооружений и невозможности эксплуатации всей распределительной сети оросительных систем. Поэтому важно правильно и своевременно оценить состояние элементов водопроводящих сооружений и предусмотреть мероприятия по ремонту их повреждений на ранней стадии развития. Существующие на сегодняшний день методы определения эксплуатационной надежности подобных сооружений относятся к визуальным и используют разрушающие методы ударного воздействия, точность измерения которых недостаточна. В связи с этим возникла потребность в поиске новых современных методов определения количественных оценок надежности водопроводящих сооружений

для получения возможности выполнения их заблаговременного ремонта и предотвращения дальнейшего разрушения.

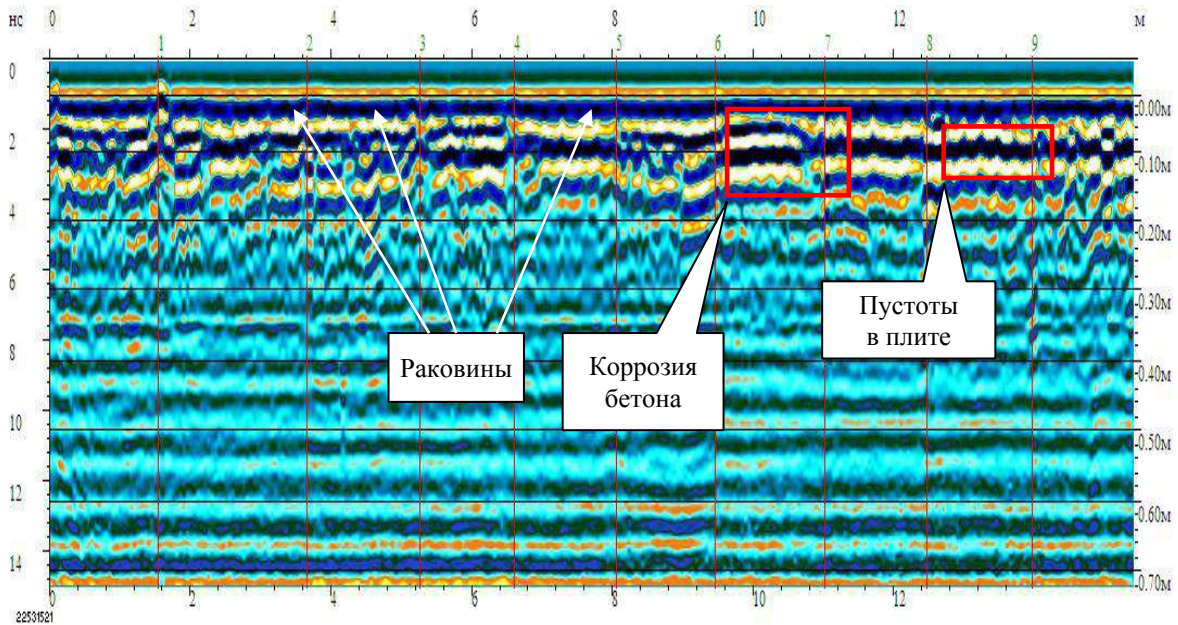
В настоящее время отсутствуют методы количественной оценки технического состояния и методики эксплуатационного мониторинга водопроводящих сооружений с использованием приборов неразрушающего контроля [3].

Техническое состояние водопроводящих сооружений определялось с применением приборов неразрушающего контроля в сочетании с численным исследованием методом конечных элементов технического состояния конструкции сооружения на основе выявления следующих факторов:

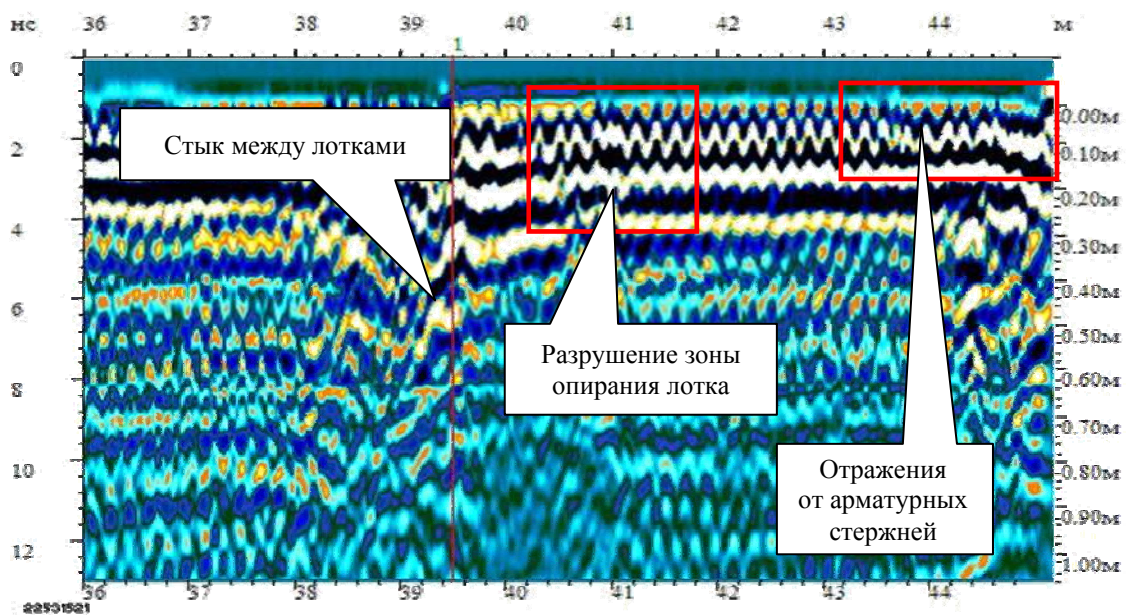
- геометрических размеров сооружений и их сечений;
- наличие трещин, их размеров, а также отколов и разрушений;
- количественных параметров прогибов и деформаций конструкций;
- фактических значений сцепления арматуры с бетоном после длительной эксплуатации сооружения;
- наличия разрыва арматуры;
- степени коррозии бетона и арматуры.

При проведении оценки технического состояния водопроводящих сооружений были использованы приборы неразрушающего контроля, с применением ультразвукового метода и метода ударного импульса, по определению геометрических характеристик их дефектов и повреждений, георадар ОКО-2, и фактической прочности бетона в местах нахождения дефектов и повреждений, электронный измеритель прочности ИПС-МГ4.01 [4]. Система наблюдений включала в себя съёмку профилей. С целью установления фактической прочности лотковых каналов оросительных систем были обследованы, входящие в комплекс эксплуатации методом ударного импульса, электронным измерителем прочности ИПС-МГ4.01. Места измерений были привязаны к георадарным обследованиям для определения прочности каждой конструкции в характерных точках профилей [5] (рис. 1).

В ходе натурных исследований были выявлены дефекты и повреждения водопроводящих сооружений. В результате установлено на примере лотковых каналов оросительных систем, что разрушение в донной части лотков происходит в большинстве случаев из-за того, что лоток в этом месте находится в наиболее неблагоприятных условиях. Наличие этих повреждений после длительного срока эксплуатации лотков обусловлено несовершенной технологией производства элементов лоткового канала оросительных систем, а также несовершенством строительномонтажных работ [6] (рис. 2).



*Рис. 1. Фрагмент профиля георадарного зондирования облицовочных бетонных плит*



*Рис. 2. Фрагменты профилей георадарного зондирования участка лоткового канала с дефектами*

Таким образом, применение приборов неразрушающего контроля при обследовании водопроводящих сооружений позволяет оперативно, без дополнительных повреждений, получать объективную оценку их технического состояния, а именно [7]: установить факт наличия дефектов и повреждений, определить их геометрические параметры (ширину, глубину и длину), а также величину фактической прочности бетона в

местах нахождения дефектов. При использовании данного подхода появляется возможность обоснование параметров дефектов и повреждений, которые невозможно установить при визуальном осмотре.

### **Список информационных источников**

1. Бандурин М.А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 1 (09). – С. 68–79.
2. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Методы неразрушающего контроля при моделировании технического состояния железобетонной облицовки водопроводящих каналов // Наука и безопасность. – 2012. – №5. – С. 9–17.
3. Бандурин М.А. Проблемы определения остаточного ресурса технического состояния закрытых водосбросов низконапорных гидроузлов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 28. – № 1. – С. 69.
4. Бандурин М.А. Применение программно-технического комплекса для решения задачи проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 22. – №4-1(22). – С. 51.
5. Волосухин В.А., Волосухин Я.В., Бандурин М.А., Бандурин В.А. Пат. 2458204, РФ. Устройство для проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих сооружений. - Оpubл. 10.08.2012.
6. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2005. – № 1. – С. 141.
7. Бандурин М.А., Бандурин В.А. Методы моделирования напряжённо-деформированного состояния для определения остаточного ресурса железобетонного консольного водосброса при различных граничных условиях // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 27. – № 4. – С. 109.

# ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЗЕРВУАРОВ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

*Д.А. Устюгов*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Якимов Е.В., к.т.н., доцент кафедры физических  
методов и приборов контроля качества ТПУ*

Резервуар стальной вертикальный (РВС) это наземное строительное сооружение, предназначенное для приема, хранения и выдачи жидкости [1]. РВС изготавливают с номинальным объемом от 100 до 100 000 м<sup>3</sup>. РВС используют в качестве технологических емкостей для приема, хранения, откачки и измерения объемов нефти и в качестве емкостей для аварийного сброса нефти при срабатывании предохранительных клапанов и задвижек [2].

Вертикальные стальные резервуары, являясь важным звеном в технологической цепочке транспортировки нефти, должны находиться в работоспособном состоянии весь период эксплуатации. Для этого в отраслевых регламентах определены сроки и объемы регулярного диагностического обследования РВС. Общий срок службы резервуара должен обеспечиваться проведением регулярного двухуровневого диагностирования с оценкой технического состояния и проведением ремонтов (при необходимости). Периодичность частичного или полного диагностирования зависит от особенностей конструкции и конкретных условий эксплуатации резервуара. Полное техническое диагностирование резервуаров проводится с интервалом не более 10 лет, конкретные сроки назначаются экспертной организацией.

Двухуровневое диагностирование резервуаров включает в себя: частичное диагностирование (без выведения из эксплуатации); полное диагностирование (с выводом из эксплуатации, очисткой и дегазацией).

Полное диагностирование [3] технического состояния резервуара предусматривает выполнение следующих работ:

- ознакомление с эксплуатационно-технической документацией на резервуар; визуальный осмотр всех конструкций резервуара, включая сварные соединения;
- измерение фактических толщин элементов резервуара;
- измерение геометрической формы стенки и нивелирование днища;
- контроль сварных соединений стенки неразрушающими методами;

- исследование химического состава, механических свойств металлов и сварных соединений и их структуры;
- проверка состояния основания и отмоски;
- поверочные расчеты конструкции резервуаров; анализ состояния резервуара, разработка рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации, ремонту или исключению из эксплуатации.

*Ознакомление с эксплуатационно-технической документацией.*

При ознакомлении с технической документацией устанавливается ее комплектность и собираются следующие сведения: технические характеристики резервуара – тип, высота, диаметр, вместимость и т. п.; данные по изготовлению и монтажу резервуаров – номер проекта, завод-изготовитель, монтажная организация, дата изготовления и монтажа, отступления от проекта в процессе сооружения, виды и результаты испытаний; сведения о металле, толщина листов по сертификату; сведения о технологии сварки и сварочных материалах; данные о режиме эксплуатации резервуара и вида хранимых в нем продуктов; данные о проведенных ранее обследованиях с заключениями о техническом состоянии и рекомендациями по дальнейшей эксплуатации или ремонту; данные о проведенных ремонтах.

*Визуальный осмотр конструкций.* При визуальном осмотре обязательной проверке подлежат: состояние основного металла стенки, днища, настила и несущих элементов кровли, понтона (плавающей крыши) с установлением наличия коррозионных повреждений, царапин, задиrow, трещин, прожогов, оплавлений, вырывов, расслоений, металлических включений, закатов и пр.; общие и местные деформации, вмятины, выпучины на конструкциях; размещение патрубков на стенке резервуаров по отношению к вертикальным и горизонтальным сварным соединениям в соответствии с требованиями проекта; состояние уплотнения между понтоном (плавающей крышей) и стенкой резервуара; состояние сварных соединений конструкций резервуаров в соответствии с требованиями проекта, СНиП 3.03.01-87, стандартов на соответствующие виды сварки и типы сварных швов.

*Измерение фактических толщин элементов резервуара.* Определение толщины металла производится толщиномерами типа УТ-93П, УТ-80-81М и др., позволяющими измерять толщину в интервале 0,2–50,0 мм с точностью 0,1 мм при температуре окружающего воздуха от -10 до + 40 °С.

В доступных местах возможны прямые измерения толщины металла штангенциркулем.

Объем работ по измерениям толщин устанавливается на основании результатов внешнего осмотра резервуара в зависимости от длительно-



сти эксплуатации и агрессивности хранимого продукта. Во всех случаях измерения проводятся в местах, наиболее пораженных коррозией.

*Измерения геометрической формы стенки и нивелирования днища резервуара.* Для выявления действительной геометрической формы резервуара и определения величины отклонений от требований нормативно-технической документации измеряется величина отклонений стенки на уровне верха каждого пояса от вертикали. Измерения производятся в наиболее деформированных местах стенок (по результатам внешнего осмотра), при помощи шаблонов, отвесов и геодезическими методами.

Величина неравномерной осадки наружного контура днища определяется путем нивелирования в точках, соответствующих вертикальным стыкам первого пояса не реже, чем через 6 метров, начиная от приемно-раздаточного патрубка с нумерацией по часовой стрелке.

*Контроль сварных соединений.* Проведение предварительного контроля сварных соединений осуществляется визуальным методом с инструментальным замером параметров швов.

Внешний осмотр и измерения геометрических размеров с помощью шаблонов производятся с целью выявления наружных дефектов: несоответствия размеров швов требованиям проекта, СНиП 3.03.01-87 и стандартов; трещин всех видов и направлений; наплывов, подрезов, прожогов, не заваренных кратеров, непроваров, пористости; отсутствия плавных переходов от одного сечения к другому; несоответствия общих геометрических размеров сварного узла требованиям проекта.

По результатам предварительного контроля, при необходимости, возможно выполнение контроля неразрушающими методами.

*Исследование металла и сварных соединений.* Механические испытания, химический анализ и металлографические исследования металла и сварных соединений проводятся при отсутствии данных о первоначальных свойствах основного металла и сварных соединений, значительных коррозионных повреждениях, появлении трещин в различных конструкциях и в других случаях, когда предполагаются ухудшения механических свойств, усталость при действии переменных или знакопеременных нагрузок, перегревы, действие чрезмерно высоких нагрузок и т. п.

*Проверки состояния основания.* При контроле состояния основания и отмостки фиксируется: наличие пустот между днищем резервуара и основанием; погружение нижней части основания резервуара в грунт и скопление воды по контуру резервуара; наличие растительности на отмостке; трещины и выбоины в отмостке и кольцевом лотке; обеспечение отвода воды в сторону кольцевого лотка; уклон отмостки, который не должен быть меньше  $1 = 1:10$ .



*Проверочные расчеты конструкции на прочность и устойчивость.* Расчеты конструктивных элементов на прочность (в том числе с учетом сопротивления стали хрупкому разрушению) и устойчивость производятся в случаях: отклонения фактических толщин от проектных; внесения при сооружении в конструкции изменений, непредусмотренных проектом; назначения сечений усиливающих элементов конструкций при разработке проектной документации на ремонт резервуара; оценки несущей способности конструкций с учетом реальной геометрической формы по результатам проведенных в ходе обследования измерений и др.

*Анализ результатов обследования.* Резервуара, составляется заключение с рекомендациями по дальнейшей эксплуатации, ремонту или исключению резервуара из эксплуатации.

Оценка технического состояния резервуаров производится по всем результатам обследования. Для резервуаров, отработавших установленный срок эксплуатации, определяется вероятный остаточный ресурс работоспособности.

#### **Список информационных источников**

1. ГОСТ 31385-2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия».
2. Сбор и подготовка нефти и газа. Технология и оборудование / под ред. Хафизов А.Р., Пестрецов Н.В.
3. РД 08-95-95 «Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов».

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОТКРЫТИЕМ ДВЕРЕЙ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА

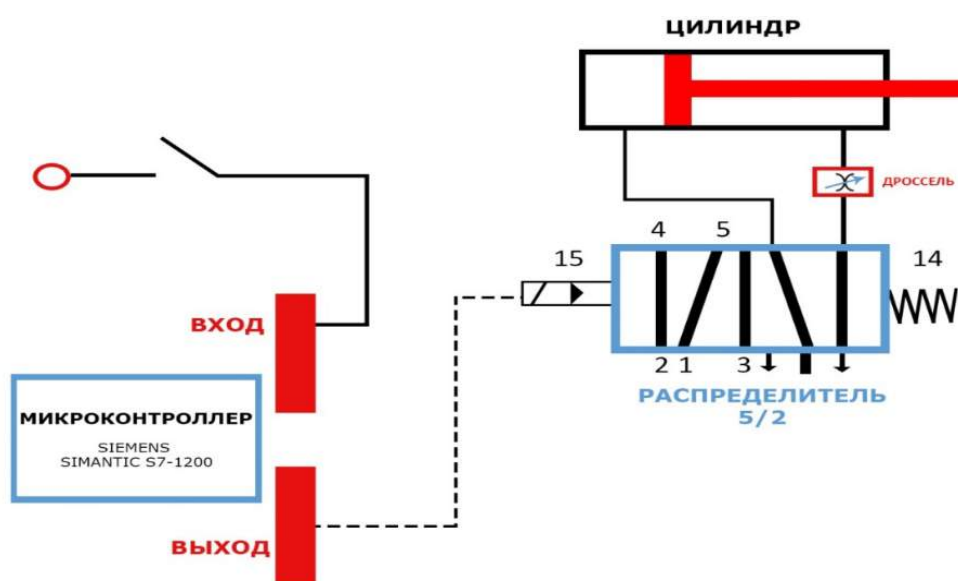
*А.А. Хромых*

*Томский государственный университет, г. Томск  
Научный руководитель: Борзенко Е.И. к.ф.-м.н., доцент кафедры  
прикладной газовой динамики и горения ТГУ*

В настоящее время микроконтроллеры используются во всех сферах жизнедеятельности человека, устройствах, которые окружают его. Это связано с большими функциональными возможностями, низкой стоимостью и простотой подключения. Реализуя различные алгоритмы управления, микроконтроллер может решить многие практические задачи аппаратной техники.

Целью данной работы является разработка пневмоэлектронной системы открытия дверей на базе промышленного контроллера. В работе разработана принципиальная схема и алгоритм управления открытием дверей, реализованный в виде программы на языке FBD. Проведены тестовые испытания предложенной схемы

Принципиальная схема системы открытия дверей приведена на рис. 1.



*Рис. 1. Принципиальная схема системы открытия дверей:  
1, 2, 3, 4, 5 – воздушные каналы; 15 – пневматический сигнал управления;  
14 – механический сигнал управления*

Рассмотрим каждый элемент в схеме отдельно. Распределитель предназначен для открытия, закрытия воздушных каналов (рис. 1(1, 2, 3, 4, 5)) и изменения направления движения потоков сжатого воздуха в со-

ответствии с сигналом управления, который может быть ручным, механическим (рис. 1 (14)), пневматическим (рис. 1 (15)), электрическим или комбинированным. Распределители управляют движением пневматических цилиндров, осуществляя пуск, остановку и изменение направления движения поршня за счёт потока сжатого воздуха от источника питания в рабочую полость цилиндра и сброса отработанного воздуха из противоположной полости через выхлопные отверстия в атмосферу.

Промышленный логический контроллер (ПЛК) – управляющее электронное устройство, применяемое в жестких условиях промышленных предприятий и любых объектов, где условия применения близки к промышленным.

ПЛК поддерживают различные датчики и исполнительные механизмы, а также осуществляют управление технологическими процессами, автоматически регулируя необходимые параметры по заданным алгоритмам.

Цилиндр состоит из поршня 1, штока 2, передней крышки 3, штоковой полости 4, бесштоковой полости 5, задней крышки 6 (рис. 2).

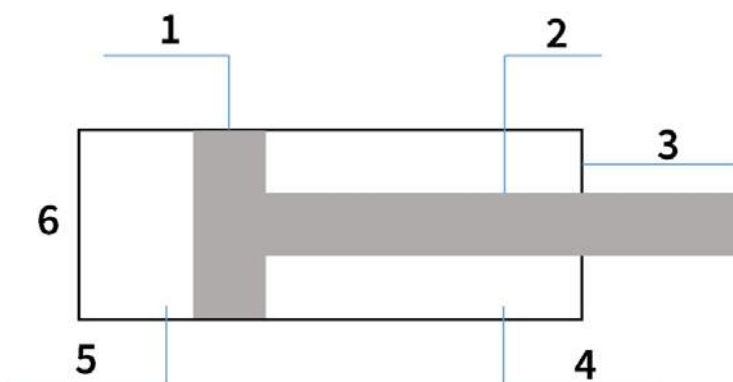


Рис. 2. Принципиальная схема цилиндра: 1 – поршень; 2 – шток; 3 – передняя крышка; 4 – штоковая полость; 5 – бесштоковая полость; 6 – задняя крышка

На рис. 3 приведена схема системы открытия дверей на готовом стенде.

Контроллер запрограммирован на языке FBD (Function Block Diagram). Программа образуется из списка цепей, выполняемых последовательно сверху вниз. Цепи могут иметь метки. Инструкция перехода на метку позволяет изменять последовательность выполнения цепей для программирования условий и циклов.

Каждая отдельная цепь представляет собой выражение, составленное графически из отдельных элементов (рис. 4). К выходу блока подключается следующий блок, образуя цепь. Внутри цепи блоки выполняются стро-

го в порядке их соединения. Результат вычисления цепи записывается во внутреннюю переменную либо подается на выход ПЛК.

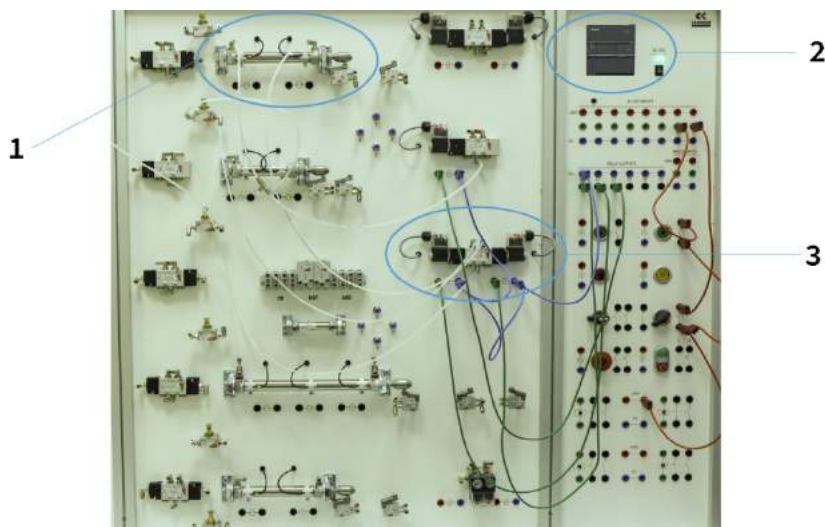


Рис.3. Стенд открытия дверей:  
1 – пневмоцилиндр; 2 – контроллер; 3 – распределитель

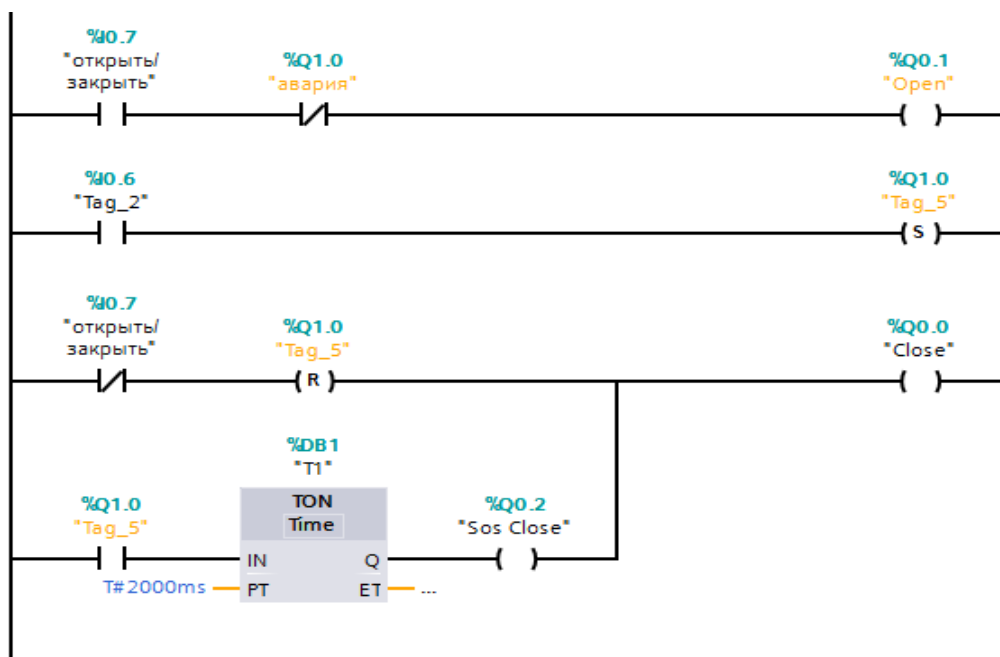


Рис. 4. Алгоритм открытия дверей на языке FBD

Алгоритм управления заключается в следующем. При нажатии на кнопку отрывания, дверь быстро откроется, а при нажатии на кнопку закрытия двери, дверь медленно закрывается. Маленькая скорость закрытия дверей необходима для того, чтобы человек успел пройти и не был прищемлен самой дверью. При нажатии на аварийную кнопку, дверь быстро закрывается с задержкой в 2 секунды.

Таким образом, в работе разработана пневмоэлектронная система открытия дверей на базе промышленного контроллера Siemens Simatic s7. Также разработана принципиальная схема и алгоритм управления, реализованный в виде программы на языке FBD. Результаты тестовых испытаний показали, что значительно снижается влияние человеческого фактора на управляемые процессы, повышается эффективность выполнения задачи.

#### **Список информационных источников**

1. ООО «Камоци Пневматика» Пневматика для всех. 2015. – С. 11–144.
2. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. – 2004. – 256 с.
3. Минаев И. Г. и др. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления. – 2-е изд., 2010. – 128 с.

# АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ОБРАЗЦОВ И ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ

*В.В. Чернова, В.А. Колесников*

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск  
Научный руководитель: Степанова Л.Н., д.т.н., профессор, заведующий  
кафедрой «Электротехника, диагностика и сертификация» СГУПС*

Применение композиционных материалов (КМ) во многих отраслях промышленности привело к росту потребности в получении информации о механизмах и особенностях их разрушения. Появление дефектов в объектах из композитов как в процессе их изготовления, так и при эксплуатации, вызывает необходимость совершенствования методов и средств неразрушающего контроля (НК). Причинами накопления повреждений могут быть растрескивания матрицы, разрыв упрочняющих волокон, расслоения, являющиеся следствием ударов, перегрузок, усталости материала, резко снижающих их прочностные характеристики. Мониторинг и оценка технического состояния конструкций выполняется в процессе регулярных осмотров с использованием различных методов НК. Все КМ обладают анизотропными свойствами, которые оказывают отрицательное влияние на возможность обнаружения дефектов и на точность результатов контроля конструкций. Поэтому актуальным является разработка методик контроля, позволяющих повысить достоверность выявления разрушений конструкций на стадии зарождения.

Для разработки и совершенствования методов локализации дефектов на ранней стадии развития проводились статические испытания образцов из углепластиков с использованием метода акустической эмиссии (АЭ). При нагружении образца, выполненного из углепластика КМКУ, были локализованы сигналы АЭ, которые группировались в трех областях: область 1 – сигналы от отверстия; область 2 – сигналы от гидравлических захватов машины МТС-10; область 3 – сигналы от ударного повреждения (рис. 1, а). Анализ времен регистрации сигналов АЭ показал, что в области 1 локация наблюдалась на заключительном этапе испытаний при нагрузке более  $P = 15$  кН. После появления первых сигналов АЭ из области концентратора напряжений их дальнейшая регистрация продолжалась непрерывно до разрушения образца (рис. 1, б). Сигналы АЭ из области 3 (рис. 1, а) соответствовали разрушению нижнего несущего слоя образца и их регистрировали группами. Первая группа сигнала-

лов АЭ была локализована при нагрузке  $P = 7,5$  кН. В дальнейшем при каждом новом увеличении нагрузки в области 3 регистрировались сигналы вплоть до разрушения образца.

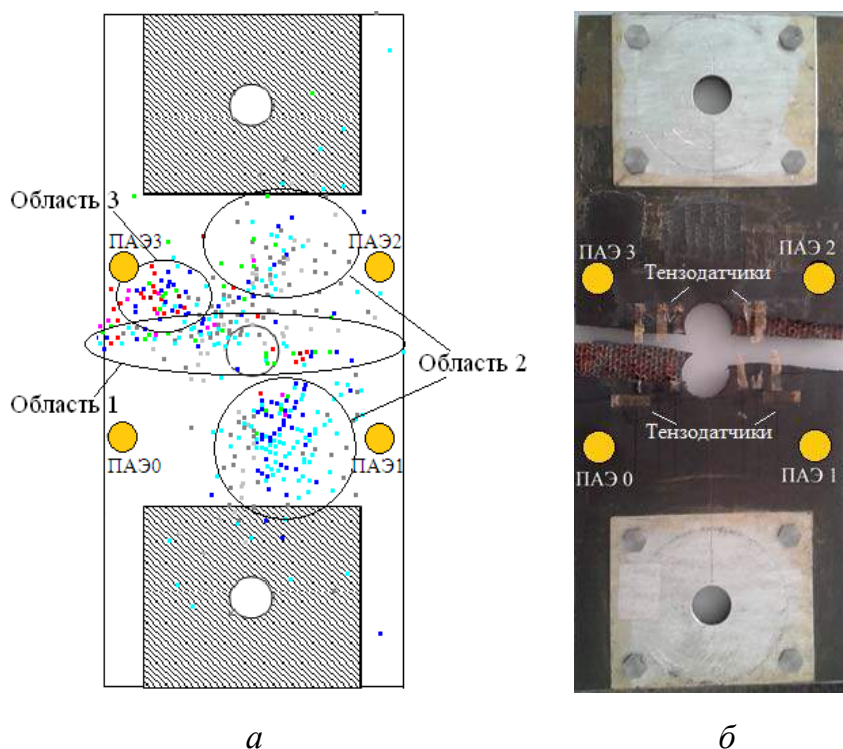


Рис.1. Локация сигналов АЭ, зарегистрированных в процессе нагружения образца 1 (а); внешний вид образца после разрушения (б)

В процессе исследований было выполнено статическое нагружение образцов, выполненных из углепластика на основе волокна Toray T700, с геометрическими размерами  $100 \times 500$  мм и толщиной, зависящей от количества однонаправленных нулевых монослоев, вдоль которых прикладывалась нагрузка. Локация сигналов АЭ в области отверстия диаметром  $d = 14$  мм началась при нагрузке  $P = 40$  кН (рис. 2).

При увеличении нагрузки до  $P = 110$  кН наблюдалось смещение локализованных сигналов АЭ от отверстия в область расположения датчиков ПАЭ2 и ПАЭ3 (рис. 2, а), что соответствовало распространению расслоения монослоев образца (рис. 2., б). Область с максимальной суммарной амплитудой (рис. 2, а) характеризовала процесс разрушения волокон со стороны образца, где была установлена пьезоантенна (рис. 2, б). В режиме реального времени с использованием метода АЭ было зарегистрировано зарождение и распространение разрушения от отверстия и момент разрыва волокон в верхней части образца в области установки ПАЭ 3 и ПАЭ2 (рис. 2, б).

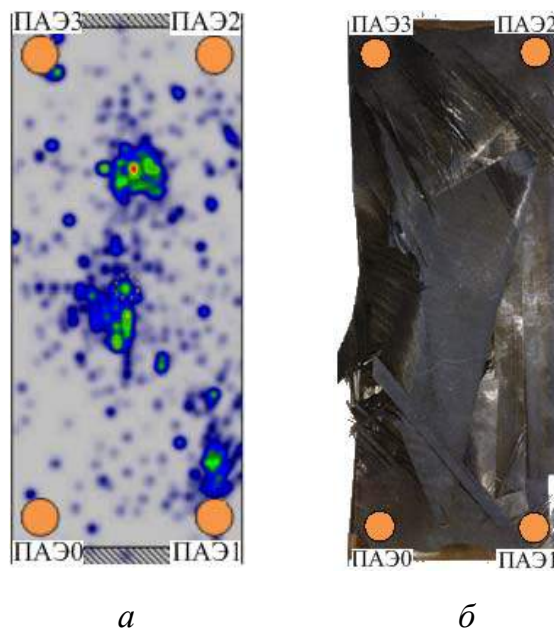


Рис. 2. Локация сигналов АЭ при разрушении образца (а); вид разрушенного образца (б)

Для обнаружения разрывов волокон и растрескивания матрицы на ранней стадии в исследуемом углепластике Т700 была выполнена фрактография. В процессе исследований образец нагружался до нагрузки  $P = 35$  кН. Локация сигналов из области отверстия началась при нагрузке  $P = 20$  кН (рис. 3, а). По результатам фрактографии было установлено, что в области кромки отверстия (рис. 3, б) образца наблюдалось отслоение матрицы от углеродных волокон. Отдельные волокна разрушались хрупко без видимых следов пластической деформации.

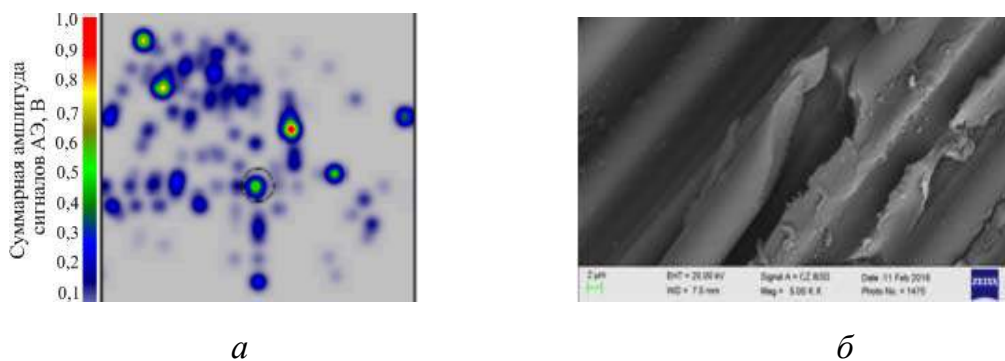


Рис. 3. Локация сигналов АЭ при нагружении образца до  $P = 35$  кН (а) и результаты его фрактографии в области отверстия (б)

Далее к образцам из данного углепластика с аналогичными геометрическими размерами и концентратором напряжения прикладывалась циклическая нагрузка. В процессе испытания образца, представленного



на рис. 4 разрушение начиналось в области концентратора напряжений при  $1,5 \cdot 10^3$  циклах нагрузки. При этом наблюдалось расслоение материала вдоль нулевых волокон. На рис. 4, а, б показана локация сигналов АЭ при нагрузке  $P = 100$  кН. В начале нагружения в области концентратора напряжений сигналы обладали максимальной суммарной амплитудой. Из этой области сигналы АЭ активно регистрировались уже на первых циклах нагружения. При нагрузке  $P = 140$  кН область локации начала распространяться в вертикальном направлении от отверстия (рис. 4, в), что подтверждал визуальный контроль процесса расслоения образца (рис. 4, г).

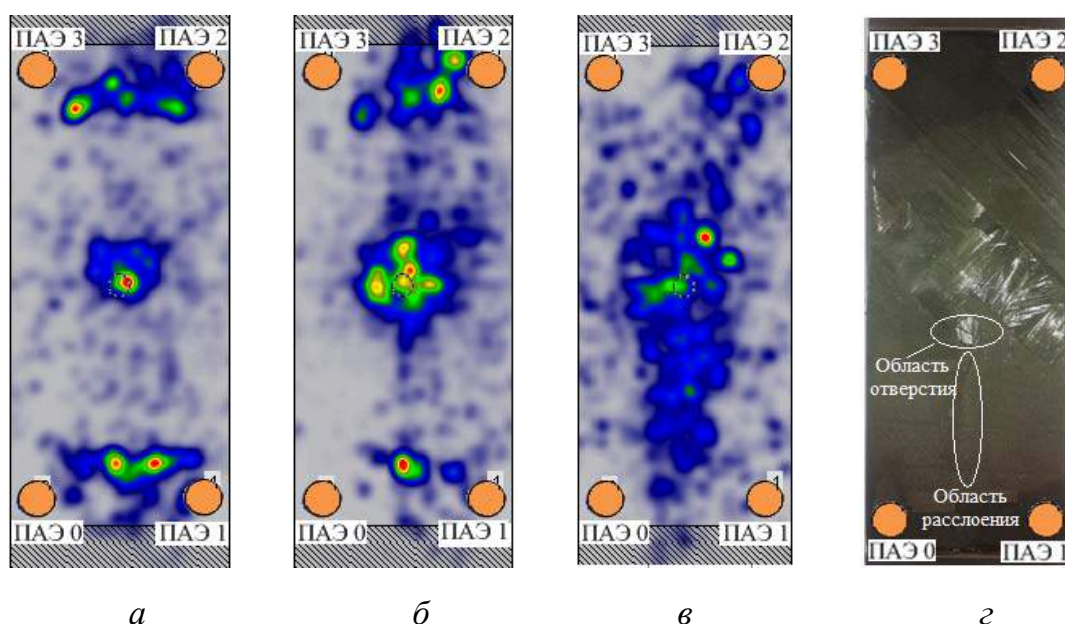


Рис. 4. Локация сигналов АЭ при испытании образца: а – б при нагрузке  $P = 100$  кН; в – при нагрузке  $P = 140$  кН; г – вид разрушенного образца

При прочностных испытаниях элементов авиационных конструкций из углепластика была поставлена задача локации источников сигналов АЭ и определения их связи с наблюдаемыми разрушениями. При нагружении конструкций из углепластика на распространение УЗ-волн оказывает влияние не только анизотропная структура материала, но и наличие отверстий, болтов, стрингеров и других конструктивных элементов. Испытаны образцы из углепластика Т700, укрепленные стрингерами, при статическом одноосном растяжении. При их установке нагружающую машину MTS-50 металлические пластины крепились болтовыми соединениями, которые являлись концентраторами напряжений. Началу разрушения образца соответствовало увеличение активности сигналов АЭ. Локация сигналов АЭ из области установки датчиков ПАЭ0-ПАЭ3 началась при нагрузке  $P = 70$  кН (рис. 5, а). Разрушение образца произошло при

нагрузке  $P = 115$  кН в области между ПАЭ0 и ПАЭ3. При этом болты не были срезаны, но разрушился КМ, из которого был сделан образец (рис. 5, б). Также произошло отслоение нескольких волокон верхнего слоя.

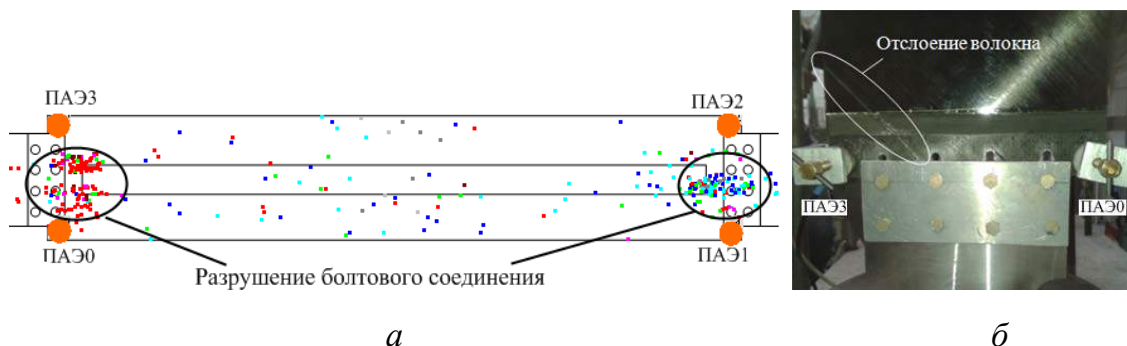


Рис. 5. Локация сигналов АЭ (а) и вид разрушенного образца 1 (б)

#### Выводы

В процессе экспериментальных исследований образцов из углепластиков КМКУ и Т700 при статическом и циклическом нагружении получена устойчивая локация сигналов АЭ, соответствующая появлению и распространению дефектов.

Мониторинг состояния различных элементов авиационных конструкций в процессе прочностных испытаний с использованием метода АЭ позволил выполнить локацию источников сигналов АЭ в режиме реального времени.

## ВЫБОР СХЕМ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С СИММЕТРИЕЙ

*Чинь Ван Бак, С.П. Осипов*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Осипов С.П., к.т.н, ведущий научный сотрудник  
Российско-китайской научной лаборатории радиационного контроля и  
досмотра ИНК ТПУ*

В связи с развитием средств вычислительной техники, источников рентгеновского излучения и соответствующих систем детектирования в последнее время бурно развивается трехмерная томография, которая отличается от двухмерной реализации РВТ, принято считать, более высокой производительностью. Применение томографии для исследования структуры протяженных объектов с симметрией, классическим примером которых являются цилиндрические тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) [1–4], продолжает оставаться актуальной задачей. Совершенствование конструкций ТВЭЛ обуславливает необходимость проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований. На первом этапе необходимо определиться со схемой получения исходной информации для РВТ, то есть со схемой сканирования. Схема сканирования существенно влияет на производительность и качество получаемых трехмерных изображений внутренней структуры.

Основные схемы сканирования и методики расчета времени контроля

Обсудим наиболее распространённые схемы сканирования протяженных изделий на примере цилиндрических объектов контроля (ОК) диаметром  $H$  и длиной  $L$ , см. рис. 1–4. Производительность обратно пропорциональна общему времени контроля  $T$  объекта. Для всех схем время  $T$  определяется временем нахождения систем детекторов в одной позиции  $t_0$ , временем перемещения системы источник – детекторов из одной позиции в другую  $\Delta t$ , шагом по углу вращения  $\Delta\theta$  и количеством временных интервалов  $k$ , необходимых для калибровки по «черному» и по «белому».

*Схема 1.* На рис. 1 изображена схема, которая характерна для классического метода РВТ. В этой схеме набор необходимых исходных одномерных проекций формируется в результате дискретного (непрерывного) вращения объекта относительно некоторой оси. После получения проекций для одного слоя объект перемещается на величину шага сканирования  $\Delta x$  и процесс повторяется. Шаг сканирования  $\Delta x$  не должен

превышать размер размера чувствительного объема детектора в направлении сканирования  $d$ .

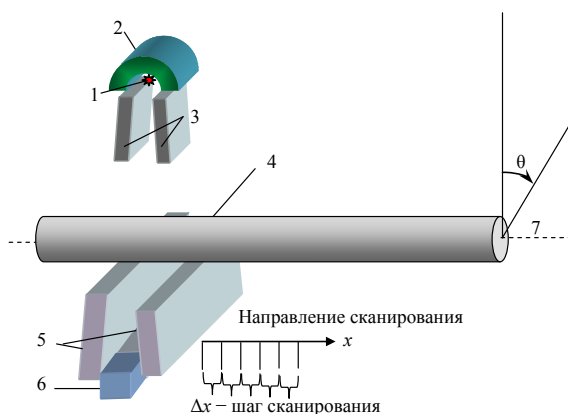


Рис. 1. Непрерывное (дискретное) вращение с дискретным линейным перемещением: 1 – источник излучения; 2 – радиационная защита источника; 3 – щелевой коллиматор источника; ОК; 5 – щелевой коллиматор детектора; 6 – линейка детекторов; 7 – ось вращения ОК

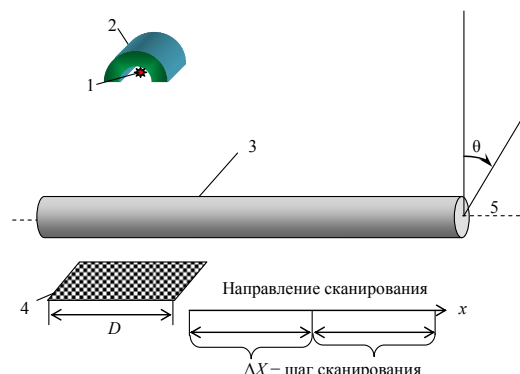


Рис. 2. Непрерывное (дискретное) вращение с дискретным линейным перемещением с формированием двухмерных проекций: 1 – источник излучения; 2 – радиационная защита источника; 3 – ОК; 4 – ось вращения ОК; 5 – панель (матрица) детекторов

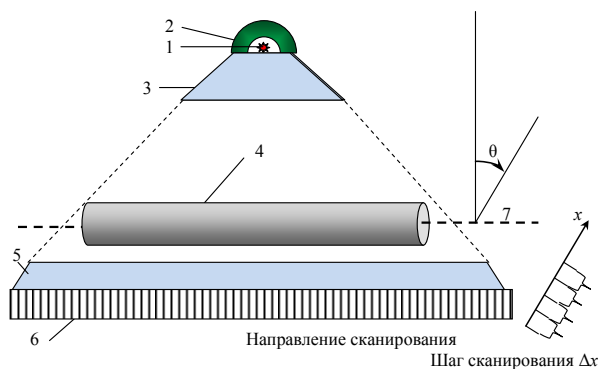


Рис. 3. Непрерывное (дискретное) линейное перемещение с дискретным вращением с формированием одномерных проекций: 1 – источник излучения; 2 – радиационная защита источника; 3 – коллиматор источника; ОК; 4 – ОК; 5 – коллиматор детектора; 6 – линейка детекторов; 7 – ось вращения ОК

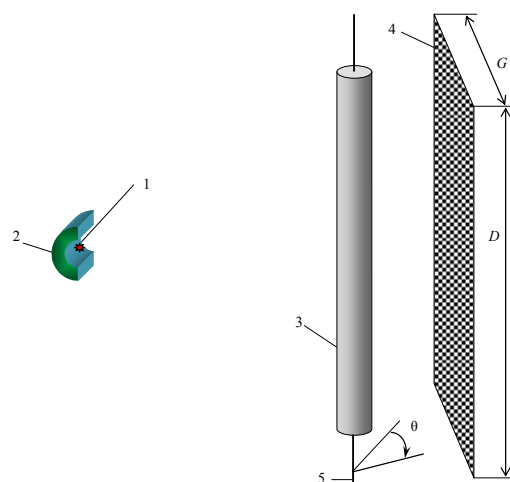


Рис. 4. Непрерывное (дискретное) вращение с формированием двухмерных проекций: 1 – источник излучения; 2 – радиационная защита источника; 3 – ОК; 4 – панель (матрица) детекторов; 5 – ось вращения ОК

Выражение для вычисления общего времени контроля  $T$  для первой схемы имеет вид

$$T = t_0 \cdot \frac{180}{\Delta\theta} \cdot \frac{L}{\Delta x} + \Delta t \frac{L}{\Delta x} + t_0 \cdot k. \quad (1)$$

*Схема 2.* Отличие схемы 2 (рис. 2) от схемы 1 заключается в том, что шаг дискретного линейного перемещения после формирования одного набора двумерных проекций  $\Delta X$  сопоставляется не с размером единичного детектора  $d$ , а с размером всей системы детектирования в направлении сканирования  $D$  ( $\Delta X \leq D$ ).

Время  $T$  оценивается по формуле

$$T = t_0 \cdot \frac{180}{\Delta\theta} \cdot \frac{L}{\Delta X} + \Delta t \frac{L}{\Delta X} + t_0 \cdot k. \quad (2)$$

*Схема 3.* В указанной схеме (рис. 3) на первом этапе формируется теневое изображение ОК в результате дискретного или непрерывного линейного перемещения объекта контроля относительно системы источник излучения – линейка детекторов. Затем объект контроля поворачивается на заданный угол и операции формирования двумерных проекций повторяются необходимое число раз.

Выражение для оценки времени  $T$  для схемы 3 имеет вид

$$T = t_0 \cdot \frac{180}{\Delta\theta} \cdot \frac{D_0}{\Delta x} + \Delta t \frac{180}{\Delta\theta} + t_0 \cdot k, \quad (3)$$

здесь  $D_0$  – поперечный размер тени объекта контроля.

*Схема 4.* Следующая схема отличается от схемы 3 регистратором рентгеновского излучения, в качестве которого выступает панельный детектор либо матрица радиометрических детекторов (рис. 4). В этой схеме тень от объекта контроля полностью помещается на лобовой поверхности системы детектирования, что позволяет исключить линейные перемещения объекта, а оставить лишь вращательное.

Формула для вычисления времени сканирования  $T$  выглядит следующим образом

$$T = t_0 \cdot \frac{180}{\Delta\theta} + \Delta t \frac{180}{\Delta\theta} + t_0 \cdot k. \quad (4)$$

### Пример расчета времени сканирования

Продemonстрируем возможности применения предложенной выше методики сравнения схем сканирования для цилиндрического объекта с максимальной массовой толщиной  $4 \text{ г/см}^2$ , эффективный атомный номер  $Z_{\text{eff}} \approx 15$ . Длина объекта 1300 мм. Поперечный размер единичного детектора  $0,1 \times 0,1 \text{ мм}^2$ . Угол  $\theta = 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ , максимальная энергия ис-

точника рентгеновского излучения –  $E_{\max} = 250$  кэВ. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

*Время сканирования  $T$ , отн. ед.*

$\theta, ^\circ$	Схема сканирования	$T$
40	1	1
	2	0,84
	3	30
	4	1,459
60	1	1
	2	0,039
	3	20,57
	4	0,665
80	1	1
	2	0,019
	3	13,419
	4	0,328

**Выводы:** Из анализа данных можно сделать достаточно неожиданный вывод: наибольшей эффективностью по производительности обладает вторая схема сканирования. Наименее эффективна третья схема. Причиной данного факта является необходимость сохранения поля облучения, приводящая к увеличению расстояния от источника излучения до объекта контроля. С увеличением угла  $\theta$  изменяется и эффективность схем сканирования. Третья схема и с увеличением угла остается самой малоэффективной. Вопрос выбора между второй и четвертой схемами сканирования остается за потребителем.

#### Список информационных источников

1. Yang M., Liu Q., Zhao H., Li Z., Liu B., Meng F. Automatic X – ray inspection for escaped coated particles in spherical fuel elements of high temperature gas-cooled reactor // *Energy*. – 2014. – Vol. 68. – P. 385–398.
2. Caruso S., Jatuff F. Design, development and utilisation of a tomography station for  $\gamma$ -ray emission and transmission analyses of light water reactor spent fuel rods // *Progress in Nuclear Energy*. – 2014. – Vol. 72. – P. 49–54.
3. Parker H.M., Joyce M.J. The use of ionising radiation to image nuclear fuel // *Progress in Nuclear Energy*. – 2015. – Vol. 85. – P. 297–318.
4. Ishimi, A., Katsuyama, K., Nakamura, H., Asaga, T., Furuya, H. Radial density distribution in irradiated FBR MOX fuel pellets // *Nuclear Technology*. – 2015. – Vol. 189. – № 3. – P. 312–317.

# РАДИОВОЛНОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

*Д.Ш. Шабуров*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Шиян В.П., к. ф-м.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества*

Диагностика технического состояния газопроводов, включающая в себя: контроль качества сварных швов, выявление коррозионных повреждений, содержит и такую важную составляющую, как обнаружение зародившихся и развивающихся сквозных дефектов (трещин), приводящих к утечке продукта и крупным катастрофам.[1].

Наиболее часто встречаются сквозные дефекты, имеющие небольшие размеры, например  $12 \cdot 0,2$  мм,  $10 \cdot 0,2$  мм,  $25 \cdot 0,2$  мм, однако, при утечке через сквозной дефект газа с большой скоростью (до сотен метров в секунду) может возникнуть лавинный процесс разрушения газопровода. Протяженность дефекта может составлять сотни и даже тысячи метров.

Это подтверждает актуальность проблемы своевременного и достоверного обнаружения дефектов в газопроводах и их устранения на начальной стадии возникновения.

Практически необходимо иметь непрерывный контроль состояния трубопроводов (продуктопроводов), особенно вблизи населенных пунктов, железнодорожных переездов, промышленных, густонаселенных и других народно-хозяйственных объектов.

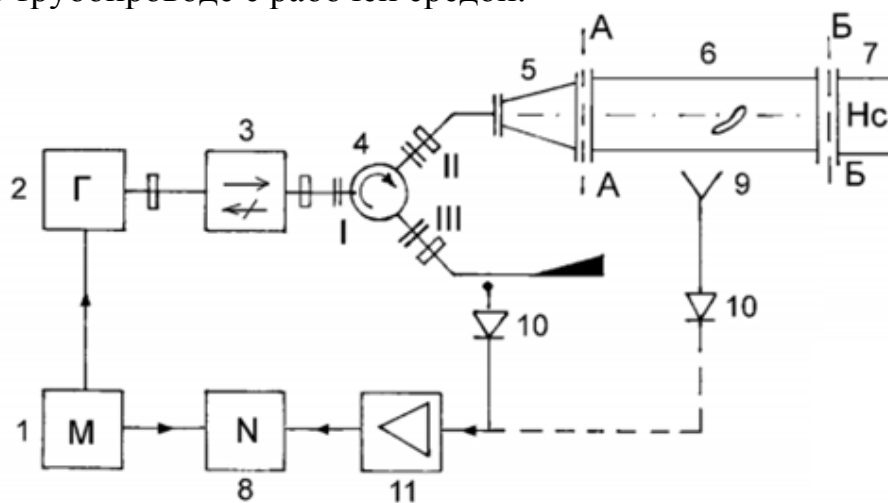
Для решения данной проблемы мы предлагаем использовать метод радиоволновой дефектоскопии. Суть метода заключается в возбуждении в трубе электромагнитного СВЧ излучения с последующим приемом его из щели [2].

Структурная схема лабораторного макета радиоволнового дефектоскопа представлена на рис. 1.

Принцип работы радиоволнового дефектоскопа заключается в следующем: СВЧ импульс длительностью 10 нс и несущей частотой 10 ГГц от генератора 2 через циркулятор 4 поступает в трубопровод-волновод.

При распространении СВЧ-импульса по трубопроводу со сквозным дефектом часть энергии излучается в свободное пространство через дефект. Излученный из щели СВЧ-импульс является информативным параметром, определяющим наличие дефекта. Сигнал принимается приемной антенной, детектируется, усиливается и подается на скоростной осциллограф. По временной задержке излученного импульса относительно момента запуска развертки осциллографа определяется местопо-

ложение дефекта при известной скорости распространения СВЧ-импульса в трубопроводе с рабочей средой.



*Рис. 1. Структурная схема лабораторного макета радиоволнового дефектоскопа: 1 – модулятор; 2 – СВЧ-генератор; 3 – вентиль; 4 – циркулятор; 5 – трансформатор типа волны; 6 – трубопровод; 7 – согласованная нагрузка; 8 – скоростной осциллограф; 9 – приемная антенна; 10 – СВЧ-детектор; 11 – усилитель*

Для демонстрации работоспособности метода и оценки его потенциальных возможностей был разработан лабораторный макет радиоволнового дефектоскопа, схема представлена на рис. 2.



*Рис. 2. Лабораторный макет радиоволнового дефектоскопа*



Имитатором трубопровода служила труба диаметром  $D = 76$  мм, длиной  $L = 1000$  мм, нагруженная на согласованную нагрузку.

Для оценки эффективности ввода СВЧ-энергии в волноводный тракт были произведены измерения его параметров согласования, КСВ и  $\Gamma$ .

Параметры согласования (КСВ) устройства ввода СВЧ-энергии в трубопровод были измерены с помощью установки, схема которой представлена на рис. 3.

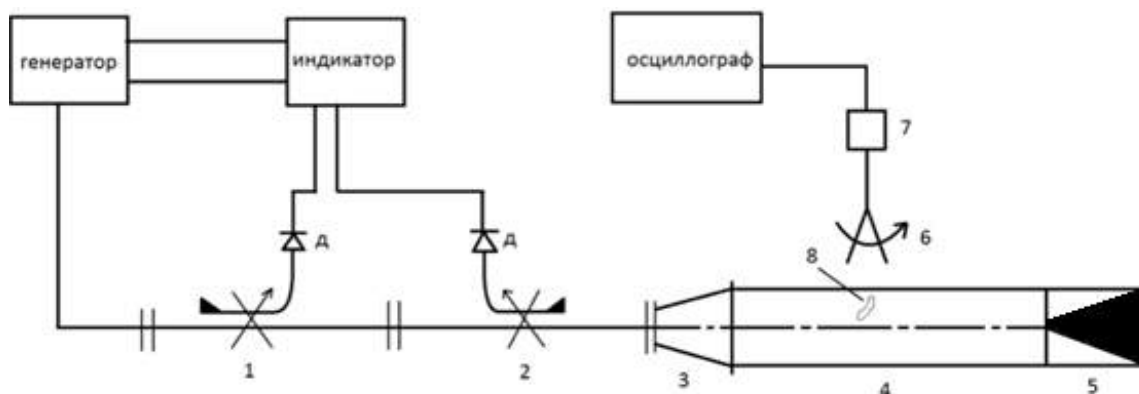


Рис. 3. Схема измерительной установки: 1, 2 – направленный ответвитель; Д – детектор; 3 – преобразователь типа волны; 4 – имитатор трубопровода; 5 – согласованная нагрузка; 6 – рупорная антенна; 7 – ВЧ-усилитель; 8 – дефект (щель)

На рабочей частоте 10 ГГц измеренное значение КСВ составила  $\rho = 1,5$ .

С учетом полученного значения КСВ, определен коэффициент отражения:

$$|\Gamma| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = \frac{1,5 - 1}{1,5 + 1} = 0,2.$$

По данному значению коэффициента отражения, была найдена отраженная мощность  $P_{отр}$ :

$$P_{отр} = P_{пад} \cdot |\Gamma|^2 = 100 \% \cdot |\Gamma|^2 = 100 \% \cdot 0,04 = 4 \%.$$

Полученный результат подтверждает довольно хорошее согласование волноводного тракта макета.

Для определения чувствительности метода был проведен эксперимент по оценке уровня мощности сигналов, излучаемых щелью. Полученный результат для щели, расположенной вдоль оси трубы (горизонтально) представлен в табл. 1.

Результаты измерения получены при мощности генератора  $P_{ген} = 5$  мкВт и коэффициенте усиления 50 дБ усилителя 7.

*Параметры дефекта*

	Длина щели, мм	Расстояние от щели до ан- тенны, мм	Сигнал, мВ	Коэффициент усиления, дБ
Горизонтальная щель	50	60	16	50

Результаты, полученные на лабораторном макете, подтверждают работоспособность метода и могут быть использованы, в качестве исходных данных, для проектирования полевого варианта радиоволнового дефектоскопа.

**Список информационных источников**

1. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др. / под общей ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1983. – 672 с.
2. Арзин А.П., Жуков В.Л., Левин С.Ю., Овчинников В.П., Саяпин А.Ф., Фетисов Г.О., Шиян В.П., Штейн Ю.Г. Патент РФ №2020467 от 03.07.91 г. Способ обнаружения сквозных дефектов в трубопроводах.

# КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

*А.В. Шибико*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Шиян В.П., к. ф-м. н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества*

Целью работы является изучение процесса микроволновой сушки древесины, определение основных параметров микроволновой сушки и выбор средств их контроля, исследование влияния СВЧ-излучения на параметры сушки, в частности на датчики измерения температуры.

СВЧ-сушка широко распространена и обладает преимуществами перед другими видами сушки, например, равномерностью сушки, лёгкостью управления нагревом, практически мгновенным подводом энергии к нагреваемому объекту, высоким КПД преобразования СВЧ-энергии в тепловую и т. д. В то же время возникает проблема влияния СВЧ-излучения на датчики.

Процесс сушки древесины является одним из важнейших этапов подготовки материала к работе, так как сухая древесина обладает высокой прочностью, меньше коробится, не подвержена загниванию, легко склеивается, лучше отделяется и более долговечна.

При испытаниях с целью определения показателей физико-механических свойств древесины ее кондиционируют, приводя к нормализованной влажности, например 12 %.

При сушке древесины СВЧ-энергией возникает проблема воздействия её на применяемые датчики, что требует ряда технических решений для обеспечения требуемой точности контроля. Для решения этой проблемы поставлен эксперимент по оценке влияния СВЧ-излучения на процесс измерения температуры датчиками различного типа.

Эксперимент проводился с тремя термометрами, из которых два относятся к термометрам расширения (спиртовой и ртутный), а третий является термометром сопротивления типа ТСМ-571.

В качестве источника излучения использовался магнетрон. Основные параметры магнетрона представлены в табл. 1.

Таблица

*Основные параметры магнетрона»*

Рабочая частота	2375 ± 50 МГц
Максимальная выходная мощность	150 ± 45 Вт
Минимальная выходная мощность	16 ± 8 Вт
Длина волны	12,62 см
Диаметр излучателя	132 мм

Схема эксперимента представлена на рис. 1.

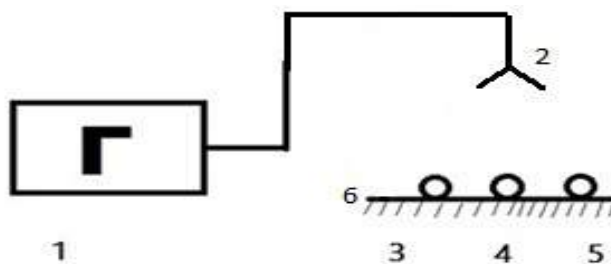


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – СВЧ генератор; 2 – излучатель; 3 – спиртовой термометр; 4 – ртутный термометр; 5 – термометр сопротивления; 6 – поглощающий материал типа «шуба»

Термометры 3, 4, 5 размещались под излучателем на расстоянии 15 см. Предварительно измерялась температура в помещении в отсутствии СВЧ-излучения. Затем подавалась СВЧ энергия. Уровень выходной мощности равен 50 Вт. Плотность потока СВЧ мощности составила  $0,37 \text{ Вт/см}^2$ . Время воздействия СВЧ энергии на термометры равно 3 минутам.

Для защиты оператора от СВЧ излучения применялся поглощающий материал типа «шуба», обеспечивающий ослабление СВЧ мощности в 10 дБ. При этом уровень паразитной плотности потока СВЧ мощности не превышал  $10 \text{ мкВт/см}^2$  на расстоянии 50 см от зоны контроля, что соответствует Санитарным нормам при работе с СВЧ излучением

Внешний вид экспериментальной установки показан на рис. 2.

Показания термометров без воздействия и при воздействии СВЧ излучения представлены в табл. 2.



Рис. 2. Экспериментальная установка

Таблица 2

Экспериментальные показания термометров

	Ртутный термометр	Спиртовой термометр	Термометр сопротивления
Температура без СВЧ	26	25	24,6
Температура с СВЧ	32	33	26,3

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что СВЧ-излучение влияет на показания приборов. Самая большая разность показаний отмечена у спиртового термометра. Это связано с тем, что этиловый спирт хорошо поглощает СВЧ-энергию. Коэффициент поглощения СВЧ энергии этиловым спиртом в диапазоне длин волн 7,5–13,0 см составляет 0.88–0.90. Меньшая разность показаний у ртутного термометра. Ртуть – это металл, при попадании его в электромагнитное поле в нем возникают вихревые токи. Происходит нагрев рабочего тела за счет которого возникает погрешность измерения температуры. Наименьшая разность показаний получилась для термометра сопротивления, которая составила 1.7. Для работы с СВЧ это наиболее подходящий тип термометра. Однако, полученная погрешность показаний приводит к выводу, что необходимо защищать датчики для достижения максимальной точности проведения измерений. В этом случае необходимо использовать защиту датчиков от СВЧ излучения в виде перфорированных экранов из металла с высокой электрической проводимостью, например меди.

В качестве примера был поставлен эксперимент по влиянию защитного экрана на показания спиртового термометра в присутствии СВЧ поля. Защитный экран в виде цилиндра выполнен из перфорированной медной фольги. Измерения проводились при мощности СВЧ генератора 50 Вт, время экспозиции 5 минут

Внешний вид спиртового термометра с перфорированным экраном показан на рис. 3.

Данные, полученные в ходе эксперимента представлены в табл. 3.



Рис. 3. Спиртовой термометр с перфорированным экраном

Таблица 3

*Экспериментальные показания спиртового термометра*

	Показания без экрана	Показания с перфорированным экраном
Температура без СВЧ, $t_0$	27	27
Температура с СВЧ, $t_1$	39	31

На основании результатов эксперимента можно сделать вывод, что погрешность измерения температуры при использовании перфорированного экрана существенно уменьшилась и составила 4 °С.

На основе выбора основных параметров сушки древесины и средств их контроля был разработан вариант структурной схемы контролируемых параметров, представленный на рис.4.

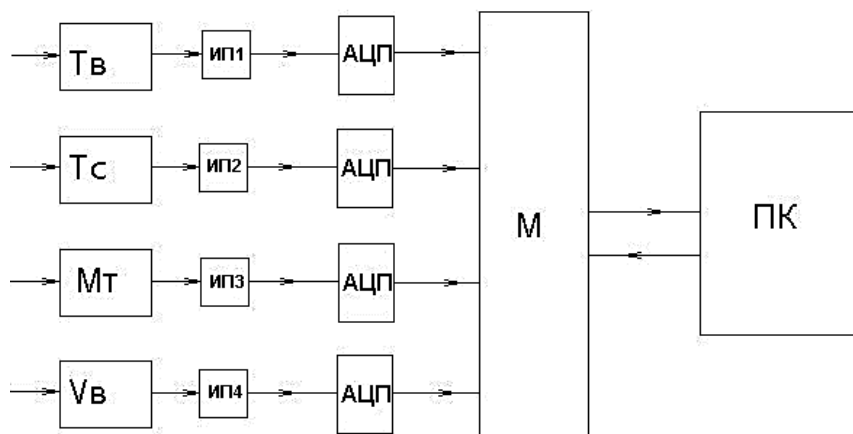


Рис. 4. Структурная схема контролируемых параметров: *Tв* – термометр влажный; *Tс* – термометр сухой; *Мт* – датчик для оценки влажности древесины; *Vв* – скорость воздушного агента; ИП – измерительный преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; М – микропроцессор; ПК – персональный компьютер

В предложенной схеме используются два термометра: влажный и сухой для измерения психрометрической разности ( $\Delta t$ ).

В качестве датчика для оценки влажности древесины взят силоизмерительный тензорезисторный датчик. Он позволяет определять текущую массу древесины и по ней текущую влажность в соответствии с формулой

$$W = \frac{M_{\tau} - M_{\text{абс. сух}}}{M_{\text{абс. сух}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $M_{\tau}$  – текущая масса высушиваемых пиломатериалов, поступающая от весового гидравлического устройства в ЭВМ;  $M_{\text{абс. сух}}$  – масса высушиваемых пиломатериалов в абсолютно сухом состоянии.

Скорость воздушного агента в схеме определяет анемометр. В сушильной камере диапазон его значений может колебаться от 0,2 до 3 м/с.

Показания датчиков преобразуются в аналоговый сигнал (при помощи ИП), затем в цифровой (АЦП) и в микропроцессоре происходит расчёт интересующего нас параметра. Полученное значение выводится на компьютер.

Примерная схема размещения датчиков в камере представлена на рис. 5

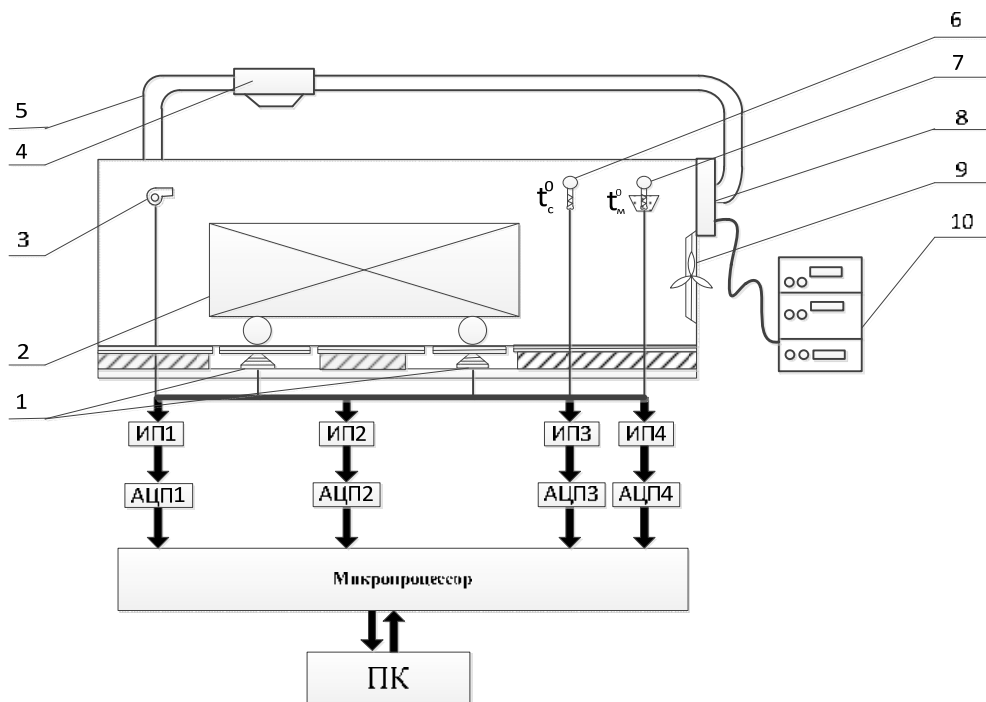


Рис. 5. Схема размещения датчиков: 1-тензорезистивные датчики; 2 - тележка со штабелем; 3 –анемометр; 4 – конденсатор; 5 – воздуховод; 6 – сухой термометр; 7 – влажный термометр; 8 – СВЧ генераторный модуль; 9 – вентилятор; 10 – блок питания и управления магнетронами

В ходе проведенной работы был поставлен эксперимент по оценке влияния СВЧ излучения на работу температурных датчиков трех типов: спиртового, ртутного термометров и термометра сопротивления. Сравнительный анализ термометров с разными рабочими телами показал, что наиболее приемлемым для работы с СВЧ-излучением является термометр сопротивления типа ТСМ-571. Для уменьшения влияния СВЧ излучения на показания термометров необходимо все же применение защитных экранов.

Составлена принципиальная схема измерения технологических параметров СВЧ сушки и вариант расположения датчиков в сушильной камере.

### Список информационных источников

1. Шиян В.П. Малогабаритная СВЧ камера для сушки пиломатериалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2001. – Вып.5. – С. 71–80.
2. Болдырев П. В. Сушка древесины. – СПб, ПРОФ ИКС, 2002. – С. 13, 14, 26.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СЕНСОРНОМ КОНТРОЛЕ ГАЗОВЫХ СРЕД

*А.А. Шубенков, Л.В. Слюнкова*

*Омский государственный технический университет, г. Омск  
Научный руководитель: Е.Г. Шубенкова, к.х.н., доцент кафедры химии  
ОмГТУ*

Сенсорные устройства позволяют контролировать различные параметры. Миниатюрные размеры позволяют встраивать сенсоры в различные системы и проводить анализ без отбора пробы, что повышает безопасность их функционирования. Высокая чувствительность и стабильность сенсоров используется при их работе в индивидуальных сигнализаторах, кроме того высокие быстродействие и чувствительность сенсоров делают их незаменимыми при использовании для контроля производства, технологических и эксплуатационных показателей.

Полупроводниковые сенсоры обладают важным преимуществом перед другими типами сенсоров, так как чувствуют и токсичные и горючие газы (табл. 1).

Таблица

*Сравнительная характеристика сенсоров различного типа*

Концентрация газа									
	0,1ppm	1ppm	10ppm	100ppm	0,01%	1%	10%	100%	
Горючие: CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , H <sub>2</sub> , спирт	полупроводниковые								
					термокаталитические				
						термокондуктометрические			
Токсичные: CO, H <sub>2</sub> S, Cl <sub>2</sub> ,	полупроводниковые								
	электрохимические								
					Оптические, ИК спектра				

По сравнению с достаточно хорошо изученными оксидами, не лишёнными, однако, определенных недостатков, особого внимания заслуживают пленки и пленочные структуры на основе соединений  $A^3B^5$ ,  $A^2B^6$ , представители которых уже зарекомендовали себя в качестве чувствительных элементов газовых сенсоров [2].

Методы оперативной диагностики и контроля, базирующиеся на полупроводниковых системах, предусматривают получение новых материалов, изучение их адсорбционно-зарядовой чувствительности к детектируемым газам, кинетических особенностей формирования соответствующих сенсорных откликов.



Использование полупроводниковых соединений типа InSb, ZnSe, ZnTe и твердых растворов на их основе в качестве газочувствительного материала позволяет обеспечить чувствительность к широкому спектру горючих и химически активных газов находящихся в воздушной среде и газовых смесях [1–2]. Процесс адсорбции газов на поверхности газочувствительного материала зависит от температуры и реализуется в диапазоне 40–150 °С, причем для каждого газа существует довольно узкий диапазон температур, в котором чувствительность материала к конкретному газу наибольшая.

При адсорбции газов окислителей (например, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) на поверхности полупроводникового материала происходит обеднение зоны проводимости электронами, что приводит к росту энергетического барьера в области контакта частиц и увеличению сопротивления этой части газочувствительного материала. При адсорбции газов восстановителей (например, H<sub>2</sub>, CO) количество электронов на поверхности области контакта растет и соответственно сопротивление газочувствительного материала уменьшается.

В основе конструкции чувствительного элемента описываемых полупроводниковых сенсоров лежат тонкие пленки (до 250 нм) InSb, ZnTe и твердых растворов на их основе, нанесенные на подложку диэлектрика.

Существенное влияние на свойства пленок алмазоподобных полупроводников оказывает предварительная обработка исходных материалов и последующий отжиг пленок. Так, механохимическая активация порошков, используемых для получения пленок, а затем их отжиг в вакууме или в парах компонентов В приводят к изменению стехиометрического состава и поверхностных свойств [3].

Поверхность пленок соединений A<sup>3</sup>B<sup>5</sup>, A<sup>2</sup>B<sup>6</sup> и твердых растворов на их основе обладает значительной неоднородностью. Это проявляется и в поведении тонкопленочных образцов в газовых средах, и при непосредственном исследовании поверхности пленок методом атомно-силовой микроскопии. Дефекты поверхности, нарушения кристаллической решетки, кластерные образования колеблются в размерах от нескольких до двух-трех десятков нанометров. При соблюдении определенных условий синтеза возможно получение воспроизводимых по физико-химическим свойствам тонкопленочных образцов. Определенная конфигурацией дефектов на поверхности, их размерами, а также с размерами и форма молекул анализируемого газа влияют на чувствительность и селективность тонкопленочных образцов по отношению к тем или иным компонентам газовых сред.

В данной работе тонкие пленки образцов исследуемых полупроводниковых систем получали методом термического напыления в ва-

кууме [2, 3]. Адсорбционные измерения проводили методом пьезокварцевого микровзвешивания (чувствительность метода  $10^{-7}$  кг/м<sup>2</sup>) в области давлений 1–11 Па и температур 253–393 К. В качестве адсорбатов использовали CO, O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>. Величина адсорбции указанных газов составила  $10^{-3}$ – $10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup>. На основе кривых температурной зависимости адсорбции установлены области обратимой химической адсорбции, т. е. области воспроизводимой работы адсорбентов как первичных преобразователей сенсоров. С помощью построенных диаграмм «величина адсорбции – состав» удалось выявить адсорбенты наиболее чувствительные по отношению к определенному газу. По отношению к аммиаку таким адсорбентом оказался твердый раствор состава 0,95InSb-0,05ZnTe. Следует отметить, что на одном и том же образце при прочих равных условиях влияние других исследованных газов на изменение частоты пьезокварцевого резонатора, а следовательно и величина адсорбции, в 2–2,5 раза меньше, чем для NH<sub>3</sub>.

Изучение зависимости электрофизических свойств изучаемых образцов от взаимодействия с их поверхностью различных газовых сред является необходимым. Кинетика изменения поверхностной электропроводности образцов по сравнению с вакуумом в средах CO, O<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub> изучалась методом пьезокварцевого микровзвешивания. Этот метод позволяет одновременно проводить адсорбционные и электрофизические измерения. Проведенные исследования изменения поверхностной электропроводности образцов систем выявили наибольшую чувствительность электрофизических характеристик твердого раствора состава 0,95InSb–0,05ZnTe к присутствию аммиака, что согласуется с данными адсорбционных измерений и подтверждает взаимосвязь адсорбционных и электронных процессов на поверхности полупроводников (рис. 1).

В то же время, хотя полупроводниковые сенсоры обладают важным преимуществом перед другими типами сенсоров, так как чувствуют и токсичные и горючие газы, но в реальных условиях разделить сигналы от разных веществ у них очень трудно. Для разделения сигналов в непрерывном режиме перспективным направлением являются исследования в области разработки и применения мультисенсорных матриц с обработкой сигналов.

Таким образом, необходимо дальнейшее изучение поверхностных свойств полупроводниковых многокомпонентных твердых растворов в реальных условиях, а также выявление образцов обладающих наибольшей чувствительностью к токсичным микропримесям, с целью разработки рекомендаций их применения в качестве чувствительных элементов газовых сенсоров и сенсорных массивов.

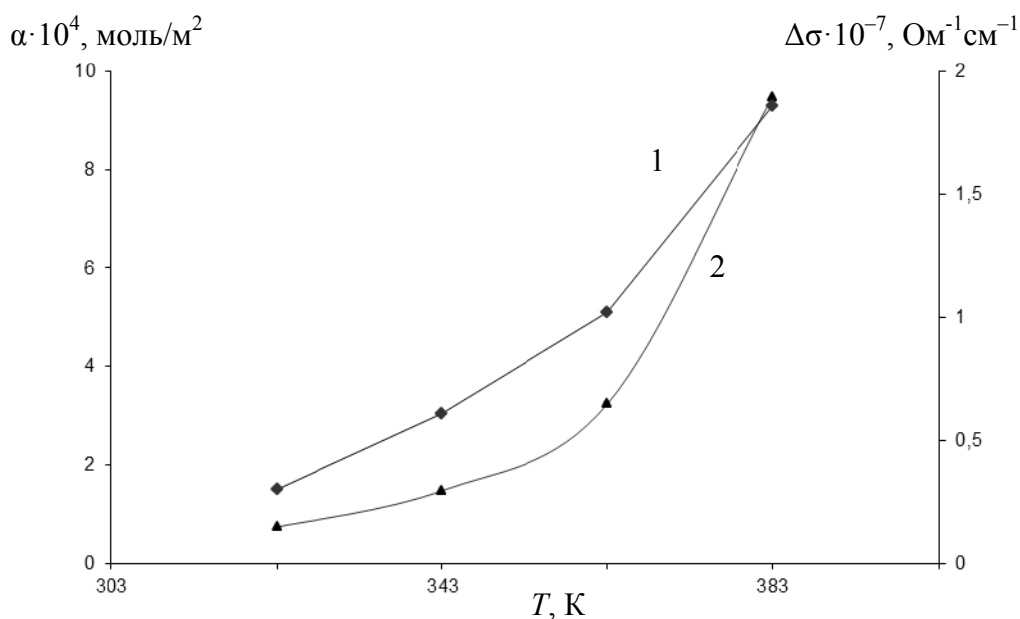


Рис. 1. Температурные зависимости изменения поверхностной электропроводности (1) и величины адсорбции (2) для образца 0,95InSb-0,05ZnTe в атмосфере NH<sub>3</sub> (p = 5,3 Па).

#### Список информационных источников

1. Каттралл Роберт В. Химические сенсоры. – М.: Научный мир, 2000. – 144 с.
2. Шубенкова Е.Г., Чжу О.П. Полупроводниковые наноразмерные материалы на основе InSb, ZnSe, ZnTe в контроле биотехнологических процессов и объектов окружающей среды: Монография. – Омск: ОмГТУ, 2011. – 129 с.
3. Kirovskaya I.A. and Shubenkova E.G. Adsorption, Electrophysical, and Optical Studies of the Surfase of Solid Solutions and Binary Composites of the InSb-ZnTe System // J. Phys. Chem. A. – 2009. Vol. 83. – No. 13. – P. 2322–2330.

# МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕЖДУ СЛОЯМИ И УРОВНЯ ДВУХСЛОЙНОЙ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ

*Р.И. Якшигильдина, А.Б. Степанов*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Степанов А.Б., старший преподаватель кафедры физических методов и приборов контроля качества ТПУ*

## Введение

Для различных областей современной науки и техники характерно большое многообразие измерительных задач, связанных с необходимостью проведения измерений уровня разнообразных жидких сред. В настоящее время существуют более двадцати различных способов измерения уровня жидких сред [1]. Так, например измерение уровня требуется в большинстве интеллектуальных систем экологического мониторинга и безопасности, в современных производственных процессах, а также при контроле массы и расхода жидких сред на этапе их транспортировки или в процессе хранения. При этом по мере повышения степени автоматизации производственных процессов и современных систем контроля актуальность измерения уровня жидких сред возрастает. Как правило, в большинстве практических приложениях требуется не только измерять не только уровень жидкой среды, но и положение границы раздела между слоями, если жидкая среда является многокомпонентной. Примером такой многокомпонентной среды может, например, служить нефть/подтоварная вода в отстойных резервуарах. Следует отметить, что большинство современных практических подходов для измерения границы раздела двухслойной жидкости оказываются непригодными. Так, например ряд методов измерений могут работать только в том случае, если контролируемая жидкая среда является прозрачной. Поэтому возникает задача рассмотрения иных технических решений к измерению уровня и границы раздела двухслойной жидкой среды. В настоящее время наиболее широкое применение для измерения уровня жидких сред получили ёмкостные датчики измерения уровня [3]. Принцип действия ёмкостного уровнемера основан на зависимости электрической ёмкости конденсаторного преобразователя образованного, например, при помощи двух пластин, которые частично введены в измеряемую среду от высоты уровня жидкости. В данной статье рассматривается метод измерения, который основан на применении ёмкостных датчиков уровня.

## Описание метода

Рассматриваемый метод измерения уровня и границы раздела между слоями жидкой среды описывает измерительную систему, состоящий из трех ёмкостных преобразователей в виде плоских конденсаторов. Отметим, что электрический конденсатор представляет собой систему, которая состоит из двух проводников, которые разделены слоем диэлектрика. Значение электрической емкости конденсатора  $C$  для случая плоскопараллельного расположения измерительных электродов можно определить с помощью следующего математического выражения:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость межэлектродной среды;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $S$  – площадь электродов конденсатора;  $d$  – расстояние между электродами конденсатора.

Каждый из трёх датчиков уровня при этом подключается к отдельному измерительному каналу. Возможные взаимное расположение и размеры чувствительных элементов датчиков показаны на рис. 1.

Допустим, имеется резервуар с двухслойной жидкой средой. При этом двухслойная жидкость занимает полностью весь объём резервуара (рис. 2). В этом случае задача измерения уровня границы раздела сред сводится к применению трех ёмкостных датчиков уровня. Предположим, что граница раздела двух сред проходит через измерительные электроды датчика  $C2$  (рис. 2). Примем, что начало координат находится в верхней граничной плоскости резервуара.

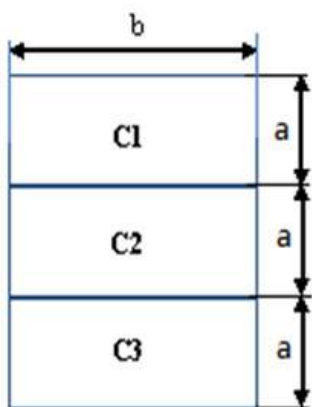


Рис. 1. Расположение и размеры ёмкостных датчиков уровня

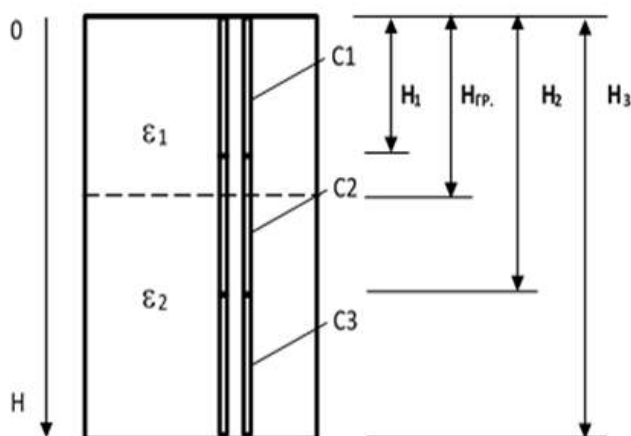


Рис. 2. Резервуар с тремя ёмкостными датчиками уровня

По выражению (1) найдем ёмкости для каждого из трёх датчиков. Ёмкость первого датчика запишем в виде:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot H_1 \cdot b}{d}. \quad (2)$$

Ёмкость второго датчика запишем в виде:

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot b \cdot (H_{\text{гр}} - H_1)}{d} + \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b \cdot (H_2 - H_{\text{гр}})}{d}. \quad (3)$$

Ёмкость третьего датчика запишем в виде:

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot H_3 \cdot b}{d}. \quad (4)$$

Из выражений (2) и (4) запишем значения относительных диэлектрических проницаемостей  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ :

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot H_3 \cdot b}{d}, \quad (5)$$

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot H_3 \cdot b}{d}. \quad (6)$$

Подставив все полученные выражения для  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  в выражение (3), получаем выражение для значения уровня границы раздела двух сред:

$$H_{\text{гр}} = \frac{H_1}{C_1 - C_3} \cdot (C_2 - 2 \cdot C_3 + C_1). \quad (7)$$

Таким образом, в любой момент времени известны относительные диэлектрические проницаемости обоих слоев среды и уровень границы раздела двухслойной жидкости.

### Моделирование работы метода с тремя ёмкостными датчиками

Рассмотренный метод измерения границы раздела между двумя слоями жидкой среды был смоделирован в пакете MathCad со следующими начальными условиями:

- высота резервуара 0,6 м;
- высота каждого ёмкостного датчика уровня 0,2 м;
- площадь электродов ёмкостного датчика 0,06 м<sup>2</sup>;
- относительная диэлектрическая проницаемость первого слоя 2;
- относительная диэлектрическая проницаемость второго слоя 81.;

Положение границы раздела слоев жидкости задавалось выражением:

$$H_{\text{гр}} = 0,25 + 0,10 \cdot (\sin(0,003 \cdot t) + 0,4 \cdot \cos(0,004 \cdot t)), \quad (8)$$

где  $t$  – время, с.

На рис. 3–4 представлены графики результатов моделирования.

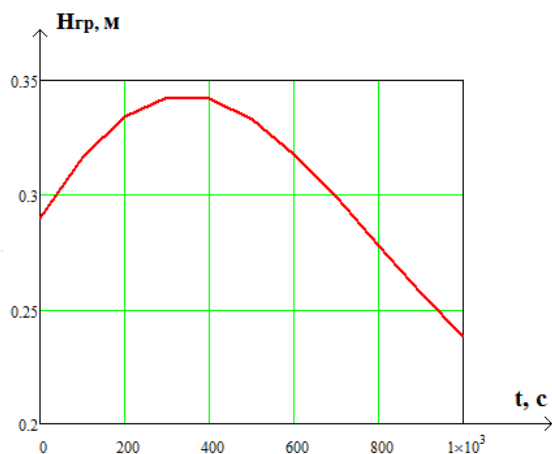


Рис. 3. Положение границы раздела между слоями

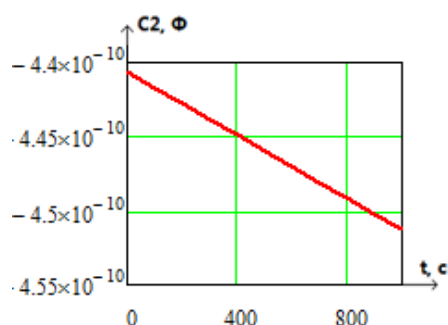


Рис. 4. Зависимость уровня второго датчика от ёмкости

### Вывод

В статье рассмотрен способ измерения уровня границы раздела между двумя слоями жидкой среды и приведены результаты математического моделирования.

### Список информационных источников

1. Якшигильдина Р.И. Анализ методов и средств измерения уровня жидких сред: дипломный проект, Томск. – 2016.
2. Бобровников Г.Н., Катков А.Г. Методы измерения уровня. – М.: Машиностроение, 1977. – 168 с.
3. Ма Синсин, Степанов А.Б. Методы измерения уровня и границ раздела многофазных жидких сред // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI научно-практической конференции. – Томск, – 2015. – С. 65–69.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ БЭТ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ПРЕКУРСОРОВ НА ДИСПЕРСНОСТЬ ПОРОШКОВ ЛИТИЙ-ЦИНКОВОГО ФЕРРИТА

*А.Р. Яруллина*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Суржиков А.П., доктор физ.-мат. наук, профессор,  
заведующий кафедрой физических методов и приборов контроля качества*

На свойства конечного продукта, полученного из порошка феррита, значительное влияние оказывают размеры частиц этого порошка. Поэтому для того чтобы добиться необходимых размеров, а, следовательно, и свойств порошка прибегают к дополнительным технологическим операциям, например к механической активации. После ее проведения требуется тщательно контролировать размер частиц порошка феррита.

Ферриты представляют собой химические соединения оксида железа  $Fe_2O_3$  с оксидами других металлов. Ферриты-шпинели имеют такую же структуру, как и минерал шпинели с общей формулой  $MeFe_2O_4$ , где  $Me - Ni^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Mg^{2+}, Li^{1+}, Cu^{2+}$  [1].

Механическая активация – это изменение энергетического состояния, физического строения и химических свойств материалов под действием механических сил при тонком измельчении. Количественно механическая активация равна изменению свободной энергии системы под действием механических сил [2].

В данной работе при анализе влияния механоактивации на дисперсность литий-цинковых ферритов использовали метод Брюнера, Эммета и Теллера (БЭТ), который является одним из методов определения удельной поверхности частиц.

Базовой основой теории БЭТ является утверждение, что силы, участвующие в процессе конденсации паров, также отвечают за энергию связи при полимолекулярной адсорбции. Скорость конденсации газовых молекул на адсорбционный слой равна скорости испарения их из этого слоя.

К уравнению БЭТ приводит суммирование для неопределенного числа слоев уравнения адсорбционного равновесия каждого слоя:

$$V = \frac{V_m C p}{(p_s - p) \left[ 1 + (C - 1) \frac{p}{p_s} \right]}, \quad (1)$$



где  $V_m$  – объем газа, соответствующий образованию монослоя;  $C$  – константа;  $p_s$  – давление насыщенного газа.

Из термодинамических соображений

$$C = \exp\left(\frac{E_1 - E_l}{RT}\right), \quad (2)$$

где  $E_1$  – теплота адсорбции первого адсорбционного слоя;  $E_l$  – теплота перехода газ–жидкость;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

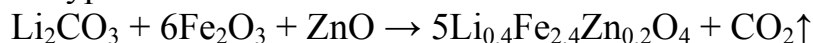
Выражение (2) в линейной форме предстает как

$$\frac{p}{V(p_s - p)} = \frac{1}{V_m C} + \left(\frac{C-1}{V_m C}\right) \frac{p}{p_s}. \quad (3)$$

Определение удельной поверхности методом БЭТ основано на нахождении количества вещества, которое адсорбируется на поверхности твердого тела в условиях образования монослойного покрытия. В качестве адсорбата обычно используют инертные газы, которые не вступают в химическое взаимодействие с поверхностью твердых частиц [3].

*Методика эксперимента.* В качестве исходных реагентов служили оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , карбонат лития  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , оксид цинка  $\text{ZnO}$ . Порошки перед взвешиванием просушивались в сушильном шкафу в течение трёх часов при температуре  $200\text{ }^\circ\text{C}$ .

Соотношение исходных компонентов в реакционной смеси было рассчитано по уравнению



Смешивание реагентов для того чтобы получить литий-цинковый феррит  $\text{Li}_{0.4}\text{Fe}_{2.4}\text{Zn}_{0.2}\text{O}_4$  производилось в следующей пропорции

$$\begin{aligned} \text{Li}_2\text{CO}_3 &= 6.63\% = 3.182\text{ г;} \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 &= 86.054\% = 41.306\text{ г;} \\ \text{ZnO} &= 7.31\% = 3.51\text{ г.} \end{aligned}$$

Полученная смесь была разделена на три партии, как показано в табл. 1. Каждая партия пропускалась через мелкое сито по три раза для получения гомогенной смеси исходных реагентов. Затем все партии соединены в одну смесь и снова пропущены через сито три раза.

Для проведения механической активации при различных режимах смесь исходных реагентов была разделена на 4 партии, каждая по 12 грамм. 1 партия – без механической активации, 2 партия – механическая активация в течение 15 минут, 3 – в течение 30 минут, 4 – в течение 60 минут. Механоактивация была произведена в мельнице – активатора планетарного фрикционного типа АГО-2С с использованием размольных стаканов и шаров из нержавеющей стали. Весовое соотношение порошка и шаров в стакане составляло 1:10.

Таблица 1

Соотношение исходных реагентов для  $Li_{0,4}Fe_{2,4}Zn_{0,2}O_4$ 

$Fe_2O_3$	$Li_2CO_3$	ZnO
1 партия		
13 г.	1 г.	1.1 г.
2 партия		
13 г.	1 г.	1.1 г.
3 партия		
15.306 г.	1.182 г.	1.31 г.

Данные механоактивированные порошки смеси исходных реагентов были использованы для исследования влияния активации на дисперсность методом БЭТ.

Таблица 2

## Результаты исследования методом БЭТ

Наименование	Навеска образца, г	Величина удельной поверхности, Суд, м <sup>2</sup> /г	Среднее значение величины S <sub>ср</sub> , м <sup>2</sup> /г	D, мкм	Условия тренировки образцов
$Fe_2O_3$	0,4335	8,74 8,71 8,72	8,72	0,1313	Тренировка проходила при нагревании образца в токе смеси газов (гелий+азот) при 120°C в течение 30 минут
$Li_2CO_3$	0,2263	1,58 1,49 1,53	1,53	1,8586	
ZnO	0,2364	4,86 5,07 4,94	4,96	0,2156	
не МА $Li_{0,4}Fe_{2,4}Zn_{0,2}O_4$	0,1784	8,31 8,38 8,26	8,32	0,1506	
15 мин МА $Li_{0,4}Fe_{2,4}Zn_{0,2}O_4$	0,1939	9,17 9,1 9,31	9,2	0,1362	
30 мин МА $Li_{0,4}Fe_{2,4}Zn_{0,2}O_4$	0,2054	14,02 14,07 13,93	14,01	0,0894	
60 мин МА $Li_{0,4}Fe_{2,4}Zn_{0,2}O_4$	0,3868	24,82 24,87 24,78	24,82	0,0505	

Средний размер частиц определяли при помощи уравнения

$$D = \frac{6}{\rho \cdot S_{\text{ср. уд}}}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность образца ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 5,242 г/см<sup>3</sup>,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  – 2,11 г/см<sup>3</sup>,  $\text{ZnO}$  – 5,61 г/см<sup>3</sup>);  $S_{\text{ср. уд}}$  – среднее значение величины удельной поверхности.

Для того чтобы определить плотность порошка литий-цинкового феррита пользовались формулой

$$\rho_{\text{Li}_{0,4}\text{Fe}_{2,4}\text{Zn}_{0,2}\text{O}_4} = \frac{m_{\text{Li}_{0,4}\text{Fe}_{2,4}\text{Zn}_{0,2}\text{O}_4}}{\frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}}{\rho_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} + \frac{m_{\text{Li}_2\text{CO}_3}}{\rho_{\text{Li}_2\text{CO}_3}} + \frac{m_{\text{ZnO}}}{\rho_{\text{ZnO}}}} = 4,79 \text{ г/см}^3. \quad (5)$$

Рассчитанные значения по формуле (4) были занесены в табл. 2.

По данным, представленным в табл. 2 можно заметить, что величина удельной поверхности увеличивается при увеличении времени механоактивации, что обусловлено увеличением дефектности частиц и их размера. По рассчитанным данным видно, что средний размер частиц исходной смеси составил 0,1506 мкм, в то время как при механоактивации этот параметр уменьшается в зависимости от времени активации, то есть при 15 мин – 0,1362 мкм; 30 мин – 0,0894 мкм; 60 мин – 0,0505 мкм. Из вышесказанного можно сделать вывод, что с увеличением времени механоактивации увеличивается дисперсность реакционной смеси.

### Список информационных источников

1. Большая советская энциклопедия. Ферриты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://enc-dic.com/enc\\_sovet/Ferrit-93532](http://enc-dic.com/enc_sovet/Ferrit-93532) 10.04.2016.
2. Биленко Л.Ф. Новый справочник химика и технолога. Механическая активация при диспергировании твердых материалов. Сущность механической активации материалов и области ее использования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/09\\_protssesy\\_i\\_apparat\\_y\\_khimicheskikh\\_tekhnologiy\\_chast\\_I/5252](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/09_protssesy_i_apparat_y_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_I/5252) 25.04.2016.
3. Никитин Ю. И., Петасюк Г. А. Методы, приборы и результаты определения удельной поверхности алмазных порошков // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 1. – С. 77–93.

# CONTROL AND MONITORING OF MAIN CLIMATIC PARAMETERS

***Kabanov A.A., Nikonova O.A.***

*Omsk State Technical University  
Tomsk Polytechnic University*

*Scientific supervisor: Nikonova G.V. Candidate of Engineering Sciences, Associate  
Professor at the Department of Radio engineering faculty*

## INTRODUCTION

Cultivation of agricultural products in terms of greenhouse farming is a daunting technological challenge. The quality of the crop is influenced by many factors. To optimize the work associated with the control, management and monitoring of greenhouse offered an automated system of agricultural greenhouses constructed in accordance with the concept of Internet of Things (IoT) [1].

IoT-management solution «Smart greenhouse» is a system that should be able to identify specific situations that occur at the facility, and accordingly respond to them, one of the subsystems can control the behavior of others in advance worked out algorithms. The basis for intelligent industrial premise is to combine the individual subsystems into a single manageable complex, as the most progressive concept of human interaction with the living space.

When a person with a single command sets the desired setting, and have equipment in accordance with the external and internal conditions sets and monitors the operating conditions of all engineering systems and appliances – is an important feature and the feature «smart greenhouses», distinguishing it from other modes of organization on the production of living space. In this case, eliminating the need to use multiple remote controls (TV, audio, video equipment), dozens of light switches, separate ventilation Control Unit, heating, irrigation, etc.

The room equipped with an intelligent system enough to choose one by pressing one of the scenarios of behavior, and it will adjust the operation of all systems in accordance with the program intelligent automation system requires a completely new approach to the structure of the life-support organization, which through a combination of software and hardware significantly increases the efficiency of the management and reliability of all systems and actuators.

## PROBLEM DEFINITION

Designing livelihood greenhouses began with the lighting project. Lighting in greenhouses is one of the most energy-intensive components.

Project lighting design and calculation of light exposure was performed using DIALux program (fig.1). It is an integrated system that combines 3-D modeling of the technical design and electrical calculation [2].

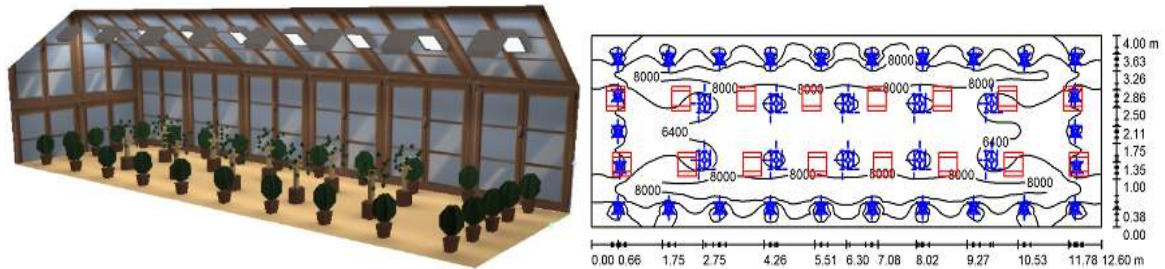


Fig. 1. «Smart greenhouse» and electric lighting calculation (DIALux program)

The IP-technology 1-Wire was chosen for the project realization. The reason is available, ease of implementation, management easy and low cost. The master for USB-port: DS9490R was used as a master of the network. Nowadays most of the diagnostic devices, removal and storing data are made with a USB interface, therefore the reason for choosing the USB master is evident.

As a method for transmitting information by 1-Wire line, we are using conventional telephone cable, and hence the exchange rate is low. However, if you carefully analyze the majority of real-world objects that require automation, then more than 60% limiting speed of service 16.3 Kbit / s is more than satisfactory.

Minicomputer Raspberry PI was used as a management and data storage server. It is directly connected with the master of 1-Wire network with connected devices are included in automatic greenhouse system [3].

Raspberry PI is a cheap computer, of a credit card size, created by David Breben. Raspberry PI is launched at the beginning of 2012. Raspberry PI runs by different operating systems (OS): Debian, Fedora, Gentoo, Arch Linux, RISC OS, AROS and FreeBSD. Standard delivery Raspberry PI is made with the operating system Raspbian, which is a special Debian Linux assembly adapted for Raspberry PI.

All this software is free and few demanding to resources. Additionally, it supports playback of videos in Full HD. However, if you do not require active work with video, you can make a rebalance of available memory allocating to the video playback functions 8-16 MB of RAM, and the rest set aside for applied problems [4].

#### THEORY AND EXPERIMENTS RESULTS

Automatic greenhouse system is a set of sensors for different purposes and actuators. Temperature and humidity sensors are inside and outside the greenhouse. The temperature sensor is connected directly to the master of network, which will interrogate him.

Data from sensors are processed by minicomputer. If the temperature and humidity exceeds the permitted limit, the signal is sent to the actuators, which in turn open windows to ventilate the greenhouse or turn on a cooling system. If the temperature falls below acceptable limit, then the heating system turn on.

It is installed a light sensor connected with the master of network. Special lamps for different kinds of plants turn on if it is inadequate lighting. A timer programmed for a particular type of plant carries out watering, the signal is sent to the electromagnetic valves, which open the flow of water. Watering is carried out of the tank inside the greenhouse (to raise the water temperature and economy of means on water heating), the filling of the tank is from the water supply system or from the well with the pump. The tank filling is controlled by means of two float sensors located in the upper and lower part and minicomputer processing the information. Security alarm work is directly interrogated the sensors which open the main door to prevent illegal access to the greenhouse. In the future, you can connect video observation for monitoring in the operation of automatic greenhouse online [5].

Also, the system includes a remote monitoring «IoT greenhouse» for this purpose the router is installed. Monitoring is carried out by data base with the web page or special application all of the data are transmitted from the minicomputer are showed on the website or display of application. Having access to the data base, we can anywhere and using any device (smartphone, tablet, laptop and others) with our application monitor and manage the automatic greenhouse progress (fig. 2).

### SUMMARY

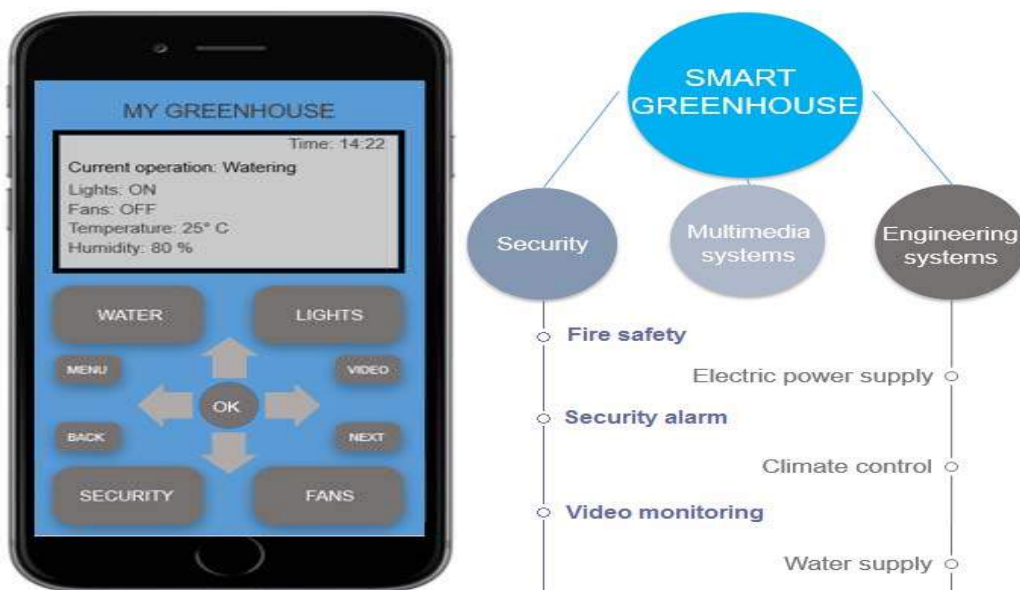


Fig. 2. Interface of application «My greenhouse» and block diagram of it

Installation of the system is automated greenhouses cost-effective, as the actual production process is controlled without human intervention, leaving him a remote control function. The concept of the system «Smart greenhouse» in the interpretation of IoT implies better integration of real and virtual worlds in which communication is made between a man and devices through a global network. This system is very flexible, creating new opportunities in the field of security, intelligence and control, it opens new and wider perspectives in the field of production and improve the quality of human life.

### References

1. Nayidich A. Internetofthings – realityorprospect // Computerpress #12, 2013. [Electronic Source]. – Access mode: <http://compress.ru/article.aspx?id=24290> 01.10.2016.
2. Kozlov A. Experience in the development of computer automation of the design process of an electric program (DIALux) and cable layout (ElectriCS 3D) at the operating enterprise // Cadmaster #3-4. – 2014. – P. 54–57.
3. Kabanov A.A., Nikonova G.V. Automatic system «smart greenhouse» // VIII International scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists – 2015. – P. 185–186.
4. [Electronic Source]. – access mode: <http://raspberrypi.org>
5. [Electronic Source]. – access mode: [http://elinux.org/RPi\\_Screens](http://elinux.org/RPi_Screens)

Научное издание

**РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ  
В УПРАВЛЕНИИ И КОНТРОЛЕ:  
ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ**

*Сборник научных трудов V Международной конференции  
школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых*

Том 1

Компьютерная верстка *И.С. Лобанова*  
Дизайн обложки *А.И. Сидоренко*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 11.11.2016. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать CANON. Усл. печ. л. 29,78. Уч.-изд. л. 26,93.  
Заказ 444-16. Тираж 100 экз.

---



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ