

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

## **Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее**

**Сборник научных трудов  
I Всероссийской конференции школьников, студентов,  
аспирантов, молодых ученых  
«Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле:  
взгляд в будущее»**

**В трех томах  
Том 1**

**08 – 11 октября 2012 г.  
Томск-2012**

УДК 658.18+620.179.1(063)

ББК 30.607л0

Э443

Э443 **Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее:** сборник научных трудов I Всероссийская конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» в 3 т. Т1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 269 с.

В сборнике представлены материалы I Всероссийской конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее». Более 200 авторов из 41 учреждения 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+620.179.1(063)**

**ББК 30.607л0**

**Материалы предоставлены в авторской редакции**

*Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ  
Грант № 12-08-06089-г*

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012

© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1: Современные технологии в неразрушающем контроле

<i>Баландина Т.Н.</i> КОРИОЛИСОВЫЙ РАСХОДОМЕР С ИЗОГНУТОЙ ТРУБКОЙ .	10
<i>Батрагин А.В.</i> ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ.....	14
<i>Белобородов Е.О.</i> МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ Р6М5, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ.....	18
<i>Бортников И.Д.</i> БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ .....	21
<i>Букатин А.Д.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ .....	25
<i>Бурганова С.Я., Коледа А.Н., Барбин Е.С.</i> ИЗМЕРИТЕЛЬ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ОБЪЕКТА .....	28
<i>Быков Д.В., Киреева А.А.</i> КРЕМОНОВЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКОСТИ, РАССЛАИВАЮЩИЕСЯ НА ЦЕНТРАЛЬНЫЕ СИММЕТРИИ.....	32
<i>Викторова М.О.</i> ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	34
<i>Гаврила А.Ф.</i> АНАЛИЗ ТИПОВОЙ ПРОГРАММЫ РАБОТ ПО ЭКСПЕРТИЗЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ.....	37
<i>Доржиев Д.Х., Попов А.А.</i> ФРАКТАЛЫ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ .....	40
<i>Евсеев С.Г., Мишурова Т.А.</i> НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В РЕМОНТЕ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ .....	43
<i>Едигарева О.В.</i> ФИЛЬТРЫ – РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ.....	46
<i>Елецкий К.А.</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ЗАРОДЫША В ЯЙЦЕ В ПЕРВЫЕ ДНИ ИНКУБАЦИОННОГО ПЕРИОДА .....	50

<i>Жданов Д.С., Сыряжкин В.И.</i> ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННАЯ НЕИНВАЗИВНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА .....	52
<i>Заболотская Е.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО АНГИДРИТА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ.....	56
<i>Зяблов А.С.</i> ВЫБОР МЕТОДА АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА.....	60
<i>Исакин И.А., Дегтерёв А.С.</i> МЕТАЛЛОГРАФИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ FE-CR-V-MO-C .....	63
<i>Кагиров А.Г.</i> КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКУЮ ЯЧЕЙКУ .....	67
<i>Казтаев А.Ж., Глушков Г.С., Лунев С.О.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ МИКРОТОМОГРАФОВ .....	71
<i>Кафтасьев С.М., Костромин А.К.</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ.....	73
<i>Кирилкин М.С., Дегтерёв А.С.</i> АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ FE-CR-V-MO-C ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИХ ИЗНАШИВАНИЯ АБРАЗИВОМ .....	76
<i>Клюшников И.Ю.</i> ОБЗОР МЕТОДОВ ДОСТИЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	79
<i>Ковалев М.К.</i> ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА И ПЕРЕИЗОЛЯЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА .....	82
<i>Коломейцев А.А.</i> МОНИТОРИНГ МИКРОКЛИМАТА В ЦЕЛЯХ ОХРАНЫ И ЗАЩИТЫ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА .....	85
<i>Кондратенко Е.В., Нармухан И.М.</i> К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОТЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН .....	87
<i>Коновалова М.В.</i> СОЗДАНИЕ ШТРИХОВЫХ КОДОВ НА ТЕРМОУСАДОЧНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ.....	91
<i>Кравченко Д.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД.....	95



<i>Кырмакова О.С.</i> ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ .....	98
<i>Лаас Р.А., Рычков М.М., Крёнинг Х.М.</i> ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В БЕТАТРОНАХ МОБИЛЬНЫХ ДОСМОТРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ .....	102
<i>Лимарева А.В.</i> ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	106
<i>Макарова Н.В.</i> ШАРИКО-ВИНТОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ.....	109
<i>Маков Д.А.</i> ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С МУЛЬТИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЧАСТИЦ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ.....	113
<i>Мархаева А.Р., Дегтерёв А.С.</i> МАКРОАНАЛИЗ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКА ПР-Х18ФНМ .....	117
<i>Мельник С.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ .....	122
<i>Мозырин Д.А.</i> ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РЕГИСТРАТОР ПРОХОЖДЕНИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ ОБЪЕКТОВ СПРМ-1 .....	124
<i>Мормоев А.Е.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОНТАКТА АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА НА УДАРНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ .....	125
<i>Наманжуев Э.Д.</i> ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОЙ НАГРУЗКИ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ДИЭЛЕКТРИКА.....	129
<i>Нестеров С.Е.</i> ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УСИНСКОГО МАРГАНЦА ....	132
<i>Новикова С.М.</i> СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФТОРОМ.....	135
<i>Носов С.Ю.</i> РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ШАХТАХ.....	139
<i>Овсянникова Т.В.</i> АНАЛИЗ ДЕФЕКТНЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	143

<i>Овсянникова Т.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОБРАЗЦЫ МИКРОДИОРИТА, КОНТАКТИРУЮЩЕГО С СОЛЕВЫМ РАСТВОРОМ.....	145
<i>Петрусёв А.С., Охорзина А.В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ОСЕВОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ .....	148
<i>Плеханов М.С., Кузьма А.А.</i> ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГЕОМЕТРИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПОРЫ ШАРОВОГО ГИРОСКОПА ....	152
<i>Плоткин Е.В.</i> МНОГОДИАПАЗОННЫЙ ПИРОМЕТР .....	154
<i>Попова А.Ю.</i> МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА ПРОИЗВОДСТВЕ В ОАО «МРСК СИБИРИ» - «ХАКАСЭНЕРГО» .....	157
<i>Равшанов Д.Ч., Гребень Т.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ПЕЧАТИ НА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ .....	161
<i>Рамазанов И.С., Степанова Л.Н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА В АКУСТИКО-ЭМИССИОННОМ КОНТРОЛЕ.....	164
<i>Рулёв Д.А., Кирюшкин Т.С., Рабданов Ч.А., Халабузар Е.А.</i> ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТРУБ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ГИРОРАЗРЫВА ПЛАСТА.....	168
<i>Сальков С.Е.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИК-РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАБОЯ ПРОХОДОК ТАШТАГОЛЬСКОГО РУДНИКА.....	172
<i>Семенцов А.О.</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ВИБРОПРИВОДОМ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА .....	176
<i>Славгородская Е.В.</i> ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ОБОБЩЕННОМУ ВЕКТОРУ ТОКА.....	180
<i>Слюсарев О.А., Филишов Е.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ .....	183
<i>Смирнов А.П., Ситников А.Г., Тарасенко В.Ф.</i> БЕЗРУТУТНЫЙ ИСТОЧНИК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН .....	186
<i>Солоха А.И., Кропачев Р.В.</i> НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ГЕОМЕТРИЯ.....	188

<i>Строкова А.В., Рогалева Е.В., Федоров Б.В.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВОЛОЧНОГО МАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ.....	192
<i>Татарина Е.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ СВИНЦА С ПОМОЩЬЮ КАТИОНИТА КУ-2.....	196
<i>Темпель Р.В.</i> РЕДУКТОРОСТРОЕНИЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ .....	199
<i>Тухватулин С.Ф., Фомина Я.Е.</i> НЕЛИНЕЙНЫЕ ИНВОЛЮЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ.....	202
<i>Фоминцева Ю.В., Стаднюк Е.И.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ .....	204
<i>Хамматов А.Н.</i> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ Р6М5.....	209
<i>Хапова Е.С., Халдина Е.А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА .....	212
<i>Хорсов П.Н.</i> КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ.....	216
<i>Чеховских С.И.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА НА УДАРНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ.....	220
<i>Чехунова А.М.</i> МАГНИТОУПРУГОЕ РАЗМАГНИЧИВАНИЕ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ .....	223
<i>Чигодаева Д.В.</i> КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРСИИ МЕТАНА В УГЛЕРОД И ВОДОРОД.....	228
<i>Чинь Ван Бак</i> УСТРОЙСТВО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ НИЗКОЧАСТОТНОЕ УРН-2 .....	231
<i>Чулков А.О.</i> ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ЭНЕРГОАУДИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	233
<i>Шпак М.А.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ .....	235

<i>Ющук С.А.</i> ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН В КОНТЕКСТЕ ИСТОРИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ .....	240
<i>Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М., Соколова А.А.</i> АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ .....	244
<i>Куйбышев Р.Р.</i> АППАРАТУРА МИД-ГАЗПРОМ К ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН.....	247
<i>Кононов Ю.М., Иванов Е.Н.</i> ЭКСПЕРТНО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКИХ ВХОДНЫХ ДАННЫХ .....	251
<i>Колмеец А.О.</i> РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	255
<i>Долганёв Ю.Г., Серикпай А.О.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ.....	259
<i>Шорохова Е.П.</i> САНАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ НАНЕСЕНИЯ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	263
<i>Лукиных В.М.</i> НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ.....	266

## **Секция 1: Современные технологии в неразрушающем контроле**

# КОРИОЛИСОВЫЙ РАСХОДОМЕР С ИЗОГНУТОЙ ТРУБКОЙ

*Баландина Т.Н.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

В связи с развитием рыночной экономики, возрастают требования к качеству измерения расхода на узлах коммерческого учета вызывают необходимость замены ряда устаревших приборов на более современные. Причем они должны удовлетворять ряду качественных критериев: измерение массового расхода, измерение плотности, измерение температуры, наличие компьютерного интерфейса, удобство монтажа и эксплуатации.

Приборы, отвечающие этим требованиям, относятся к прямому методу измерения массы продукта.

Таким прибором является массовый кориолисовый расходомер. Он обладает точностью выше, чем все остальные расходомеры, имеет ряд преимуществ перед объемными расходомерами. В первую очередь это измерение массового расхода напрямую. Это особенно важно на химическом производстве, где необходим точный учет жидкостей. Измерение массового расхода исключает необходимость в переводе объемного расхода в массовый, путем вычисления.

Основными элементами датчика расхода являются две расходомерные трубки, на которых монтируются:

- соединительная коробка с силовой электромагнитной (задающей) катушкой возбуждения и магнитом;
- магниты и электромагнитные катушки;
- терморезистор.

Элементы датчика закрыты защитным кожухом, на котором нанесен указатель направления потока.

Привод заставляет трубки вибрировать. На катушку подается переменный ток, который заставляет магнит периодически то притягиваться, то отталкиваться.

Когда поток отсутствует (в расходомере с двумя трубками) и происходит вибрация, различия в показаниях двух датчиков в точках  $B_1$  и  $B_2$  отсутствуют. Если есть поток жидкости и привод создает вибрацию трубок, то силы Кориолиса создают вторичную изгибающую вибрацию,

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Гурин Л.Б., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения ИНК ТПУ

которая проявляется в небольшой разнице фаз относительных движений трубок. Это обнаруживается датчиками в двух точках. Отклонение трубок, вызываемое силой Кориолиса, имеет место только в том случае, когда одновременно присутствует поток жидкости и вибрация трубок.

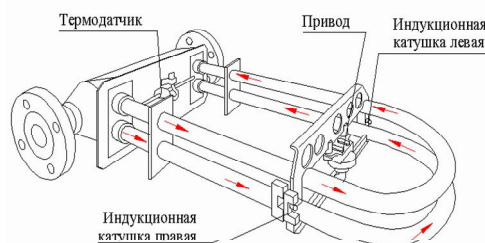


Рис.1. Устройство Кориолисового расходомера

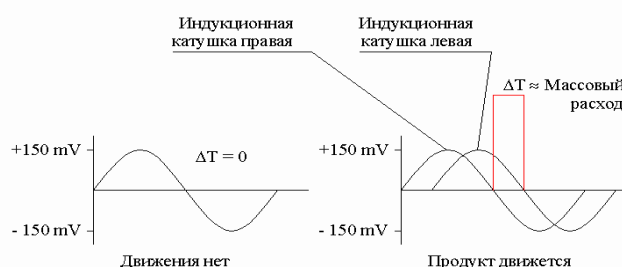


Рис. 2. Сигналы при отсутствии и наличии расхода

При одновременном снятии сигналов происходит смещение по фазе на  $\Delta T$ . Это относительное запаздывание прямо пропорционально массовому расходу.

При появлении в измерительных трубках потока жидкости, движущейся радиально по направлению от оси W-W по входному участку 1, генерируется первая сила Кориолиса  $F_{K1}$ , направленная перпендикулярно скорости потока и перпендикулярно оси W-W. В это же время на выходном участке 2 генерируется вторая сила Кориолиса  $F_{K2}$ , направленная также перпендикулярно направлению потока и оси W-W, но противоположно направленная относительно силы  $F_{K1}$ , так как на участках 1 и 2 противоположно направлены вектора скорости потока.

Сила Кориолиса определяется соотношением:  $F_K = 2 \cdot M_r \cdot V_r \cdot \omega$

где  $F_K$  — сила, действующая со стороны жидкости на трубку благодаря ускорению Кориолиса;  $M_r$  — масса продукта;  $V_r$  — линейная скорость продукта вдоль оси трубки;  $\omega$  — угловая скорость.

Противоположно направленные силы  $F_{K1}$  и  $F_{K2}$  образуют крутящий момент вокруг оси О-О, выражаемый как:  $M = F_{K1} \cdot r_1 + F_{K2} \cdot r_2$

где  $r_1$  и  $r_2$  — расстояние от оси О-О до прямых участков 1 и 2 изогнутой трубки.

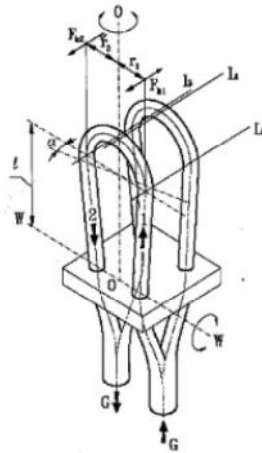


Рис. 3. Принцип действия расходомера

Так как ось О-О является осью симметрии изогнутой трубки, то  $r_1 = r_2 = r$  и следовательно:  $M = 2 \cdot F_K \cdot r = 4 \cdot M_r \cdot V_r \cdot \omega \cdot r$

Поскольку произведение  $M_r V_r$ , отнесенное к длине прямолинейного участка  $l$ , представляет собой массовый расход  $G$ , то последнее соотношение можно переписать в следующем виде:

$$M = 4 \cdot r \cdot G \cdot \omega \cdot l$$

Под действием скручивающего момента  $M$  изогнутая трубка деформируется и ее плоскость разворачивается вокруг оси О-О на угол  $\alpha$ , значение которого определяется следующим соотношением:

$$\alpha = \frac{M}{k} = \frac{4 \cdot r \cdot G \cdot \omega \cdot l}{k}$$

где  $k$  — коэффициент, характеризующий жесткость трубки на скручивание.

Отсюда следует, что

$$G = \frac{\alpha \cdot k}{4 \cdot r \cdot \omega \cdot l}$$

Для преобразования массового расхода в выходной информационный сигнал, определяется фазовый сдвиг между синусоидальными напряжениями электромагнитных датчиков скорости. При этом фазовый сдвиг измеряется во временных единицах и измеряется формулой:

$$T = \frac{2 \cdot r \cdot \alpha}{V_A}$$

где  $V_A$  — линейная скорость адаптеров на круговой траектории вокруг оси W-W. Так как  $V_A = \omega \cdot l$ , где  $l$  — длина прямолинейных участков изогнутой трубки, то формула для определения массового расхода (с учетом трех последних соотношений) принимает вид:



$$G = \frac{k \cdot l \cdot \omega \cdot T}{2 \cdot r \cdot 4 \cdot \omega \cdot r \cdot l} = \frac{k \cdot T}{8 \cdot r^2}$$

Таким образом, массовый расход оказывается линейной функцией временного сдвига между синусоидальными сигналами адаптеров. Для трубопровода, рассматриваемого как стержень с постоянным поперечным сечением с одной опорой, собственная частота  $f_j$ , соответствующая  $j$ -той форме собственных колебаний (в данном случае  $j=1$ ):

$$f_j = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{K_j^2}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot 3.14} \cdot \frac{1.76^2}{0.4^2} \sqrt{\frac{19 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \cdot 0.0097}{0.166}} = 34.64 \text{ Гц}$$

$$f_2 = \frac{1}{2 \cdot 3.14} \cdot \frac{1.76^2}{0.4^2} \sqrt{\frac{19 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \cdot 0.011}{0.216}} = 34.6 \text{ Гц}$$

где,  $K_j$  –  $j$ -тый корень частотного уравнения, для данной формы труб он равен 1.76;  $L$  – длина трубы, равна 0.4 м;  $E$  – модуль упругости равен  $19,5 \cdot 10^{-4}$ , МПа при 20 °С и  $19,0 \cdot 10^{-4}$ , МПа при 300 °С.;  $I$  – момент инерции, для труб расходомера момент инерции с плотностью жидкости  $\rho_{жс} = 0.6 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$ , равен  $0.0097 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ; Для труб расходомера момент инерции с плотностью жидкости  $\rho_{жс} = 1.6 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$ , равен  $0.011 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $m$  – масса трубы с жидкостью при плотности жидкости  $\rho_o = 0.6 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$ , равна 0.166 кг, при плотности жидкости  $\rho_o = 1.6 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$  0.216 кг.

К достоинствам данного вида расходомеров относится: высокая точность, повторяемость результатов измерений. Не требуются прямые участки. Единственным недостатком такого расходомера является его дороговизна, отсюда следует вывод, что такие расходомеры имеет смысл использовать в крупном производстве.

### Список информационных источников

1. Г. П. Катус. Массовые расходомеры. М.-Л. Изд. «Энергия», 1965.- 88.: Ил.
2. П.П.Кремлевский. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн.2/ Под общ. Ред. Е.А. Шорникова.-5-е изд., перераб. и доп.- СПб.: Политехника,2004.-412 с.: ил.
3. В. А. Светлицкий. Механика стержней: Учеб. Для втузов. В 2-х ч. Ч. 2. Динамика. -М.: Высш. шк., 1987.-304 с.: ил.

# ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

**Батрагин А.В.<sup>1</sup>**

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Томографические исследования внутренней структуры объектов получают все большее распространение в самых разных областях исследований: в медицине, технике и фундаментальной науке. Существуют разнообразные подходы и варианты использования этого метода в зависимости от источника излучения и схемы сбора проекционных данных. Одним из широко используемых является трансмиссионная рентгеновская томография. С развитием техники появился новый вид томографии – микрофокусная рентгеновская томография или микротомография. Ее отличие в том, что рентгеновская трубка имеет фокусное пятно не более 50 мкм. Метод обрел большую популярность в области неразрушающего контроля [1]. В данной работе описаны возможности и перспективы этого метода на примере одной задач, которая была выполнена на микротомографе, разработанном в Международной лаборатории неразрушающего контроля Томского политехнического университета.

## **Описание микротомографа**

В Международной лаборатории неразрушающего контроля (Tomsk Open Laboratory for Material Inspection, TOLMI) был разработан микрофокусный рентгеновский томограф TOLMI–150–10. Основные технические характеристики установки приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Технические характеристики TOLMI–150–10

Название характеристики	Значение
Тип матрицы	КМОП
Размер матрицы, пикселей	1024 x 1000
Размер активной зоны матрицы, мм	98,6 x 96,1
Шаг пикселей матрицы, мкм	96
Размер фокусного пятна рентгеновской трубки, мкм	50±10%
Диапазон регулирования напряжения трубки, кВ	0 – 150
Ток трубки, мкА	100
Минимальный шаг углового перемещения объекта, град	0,001

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., профессор кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

На рис. 1 представлен общий вид томографа и его рабочей зоны, а на рис. 2 – его схематичное изображение.



Рис. 1 Томограф TOLMI-150-10 (а) и его рабочая зона (б)

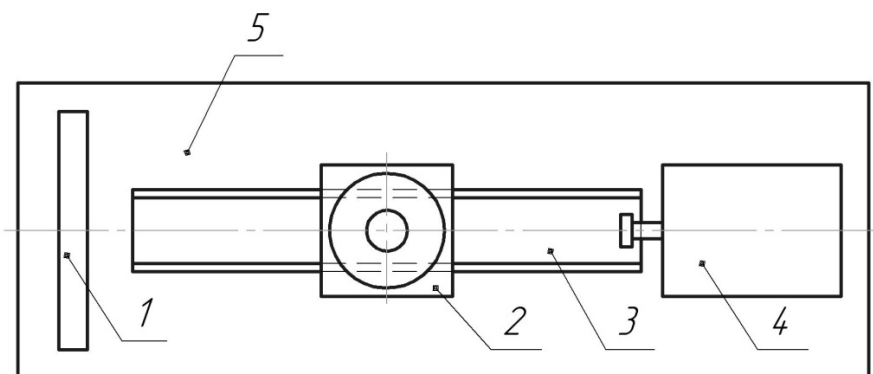


Рис. 2 Томограф состоит из матрицы 1, поворотной платформы 2, платформы линейного перемещения 3, рентгеновской трубки 4 и корпуса 5

Томограф позволяет исследовать объекты невысокой плотности, выполненные из полимеров и композитов на основе углерода, органические материалы, например, древесину, а также легкие металлы. Геометрические размеры образцов в направлении хода лучей не должны превышать, как правило, 10 см. Несмотря на эти ограничения, установка обеспечивает высокую разрешающую способность. Используя оптическое увеличение, т.е. приближая объект исследования к источнику излучения, можно детектировать элементы внутренней структуры размером порядка 5 мкм. По данной характеристике томограф TOLMI-150-10 практически не уступает зарубежным аналогам [2].

### **Томограммы и объемная визуализация**

Томография заключается в получении поперечных срезов исследуемого объекта относительно его оси вращения во время

сканирования. Поперечные срезы (томограммы) есть продукт математической обработки, так называемой реконструкции, исходных теневых проекций, получаемых с матрицы детекторов. Пример томограмм приведен на рис. 3.

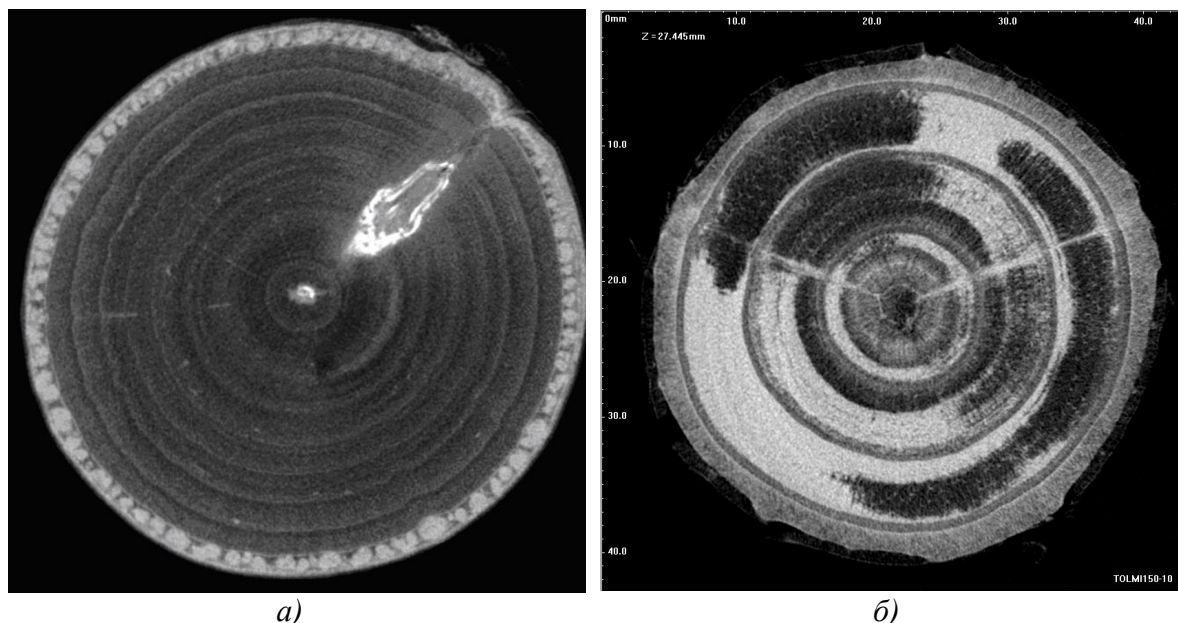


Рис. 3 Томограмма ствола березы (а) и ствола сосны (б)

Томограммы предоставляют много возможностей для исследования и анализа внутренней структуры. Предварительная калибровка по веществу с известной плотностью, например, по воде, позволяет определять плотность отдельных структур исследуемого объекта по градиентам серого [3]. Более плотные участки на томограмме выглядят более светлыми. Существует специальное программное обеспечение для проведения геометрических измерений по изображениям: определение размеров, числа элементов, их ориентации и т.д. Кроме того, томограммы позволяют увидеть картину в целом. Так, по рис. 3 видно, что формирование ствола у березы и сосны резко отличаются. У березы древесина имеет равномерную плотность, которая ниже, чем плотность коры, сердцевины и сучков. Древесина сосны, напротив, неравномерна по плотности: есть участки с наибольшей плотностью (светлые участки) и участки неплотные.

С развитием методов объемной визуализации для томографии открывается целый ряд дополнительных возможностей в сфере анализа внутренней структуры объектов и проведении измерений. На рис. 4 приведены примеры объемной визуализации образцов из березы и сосны, томограммы которых представлены выше.

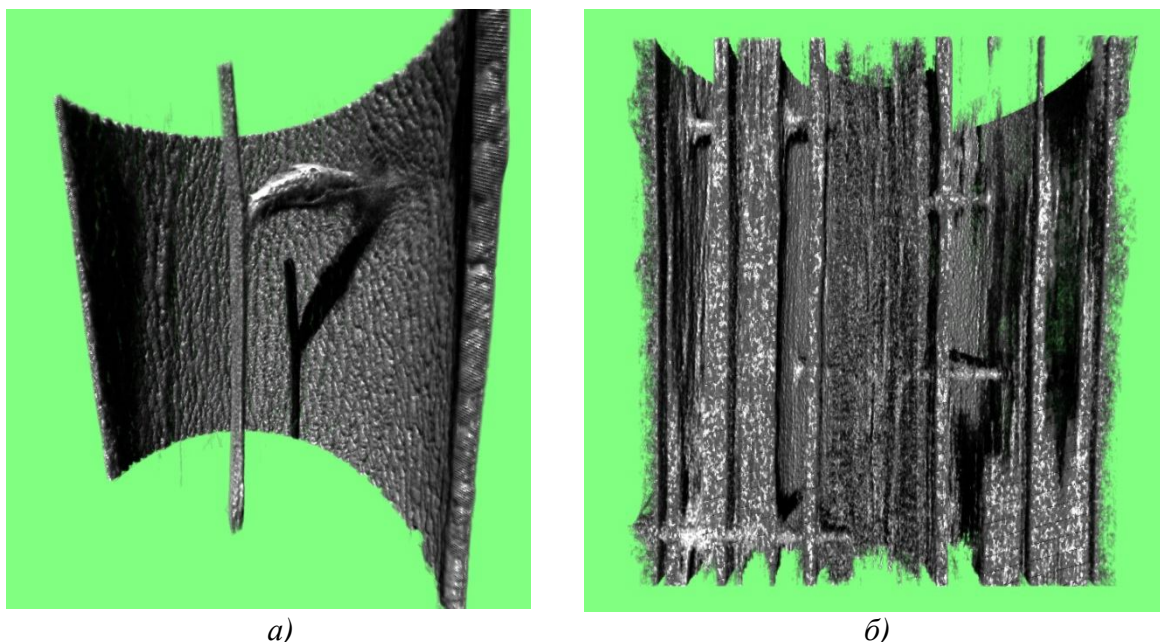


Рис. 4 Объемное представление плотных участков ствола березы (а) и сосны (б)

На рис. 4,а показаны наиболее плотные участки ствола березы: кора, сердцевина и сучок. Отчетливо видно, как происходит формирование ветки в стволе. Ветки сосны, как видно на рис. 4,б, формируются иначе, расходясь от сердцевины радиально в поперечных плоскостях. Пустоты в стволе сосны указывают на участки невысокой плотности.

Современное программное обеспечение для визуализации томографических данных позволяет в буквальном смысле заглянуть внутрь изучаемого объекта. Разрешающая способность томографов порядка нескольких микрон в сочетании с возможностями визуализации позволяет говорить об объемной неразрушающей микроскопии. А наличие инструментов для геометрических измерений по томограммам открывает широкие перспективы для метрологии во многих областях.

#### **Список информационных источников**

1. Landis E.N., Keane D.T. X-ray microtomography. Materials characterization. 2010. Vol. 61. Issue 12. P. 1305–1316.
2. SkyScan1174 compact micro-CT [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.skyscan.be/products/1174.htm>. 20.09.2012.
3. Календер В. Компьютерная томография (пер. с англ.). – М.: Техносфера, 2006. – 344 с.

# МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ Р6М5, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ

**Белобородов Е.О.<sup>1</sup>**

*Томский политехнический университет, г. Томск*

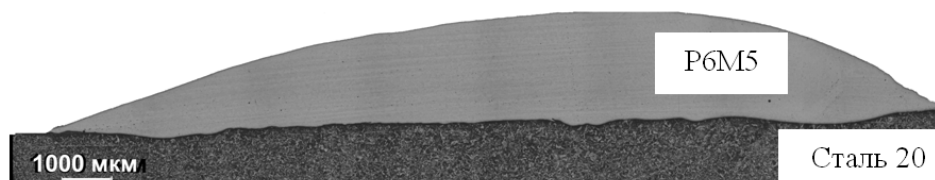
Для усиления базового материала деталей и механизмов, а также для защиты рабочих поверхностей от повышенного износа в условиях термических, химических, абразивных и комбинированных перегрузок широко применяется наплавка различными способами [1-2]. Это приводит к существенной экономии эксплуатации оборудования и снижает себестоимость производимой продукции.

В последнее время активно внедряется метод плазменной наплавки. Благодаря малому проплавлению основного металла предполагается обеспечение высокого качества наплавленного металла, его однородности, а также благоприятной структуры, определяемой специфическими условиями кристаллизации металла сварочной ванны [1-3].

Существует ряд исследований [4,5], посвященных изучению структуры быстрорежущих сталей, полученной при электронно-лучевой наплавке порошков. Представляет особый интерес влияние метода плазменной порошковой наплавки на формирование структуры наплавленного металла на основе стали Р6М5.

Целью работы является выбор методов металлографического анализа в научном исследовании структуры стали Р6М5, полученной способом плазменной порошковой наплавки на сталь 20.

Наплавку порошка (размер гранул 100...350 мкм) стали Р6М5 на пластины из стали 20 толщиной 10 мм производили с использованием установки УПН-303УХЛ4. Сила тока при наплавке составила 200 А, скорость наплавки 0,17 см/с, расход плазмообразующего газа составил 2 л/мин, транспортирующего – 10...16 л/мин, расход порошка 1,9 кг/ч.



<sup>1</sup>Научный руководитель: Хайдарова А.А., к.т.н., доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ

Для выявления структуры наплавленного металла использовали реактив  $K_3[Fe(CN)_6]:KOH:H_2O=1:1:10$ , который нагревали до  $60...80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а образец выдерживали в реактиве до 10 мин. Для выявления мартенситной составляющей полированную поверхность дополнительно травили 4-х процентным раствором  $HNO_3$ .

Для исследований использовали метод макроанализа, микроанализа с использованием оптического микроскопа OLYMPUS GX51 с комплектом прикладных программ SIAMS 700, а также метода растровой электронной микроскопии. Величину зерна матрицы оценивали линейным методом А. Розиваля.

Проведенный макроанализ наплавленного металла свидетельствует об отсутствии трещин, несплавлений и пор (рис. 1). Глубина проплавления основного металла составляет  $250...300\text{ мкм}$ .

Химическим травлением выявлена типичная для литой быстрорежущей стали аустенитно-мартенситная структура, представляющая собой эвтектические карбиды типа  $M_6C$ , расположенные по границам зерен (рис. 2). Метод дифференциального интерференционного контраста показал наличие другой фазы, расположенной по границам и внутри зёрен (рис. 2). Предположительно данные выделения представляют собой вторичные карбиды ванадия  $VC$  [7].

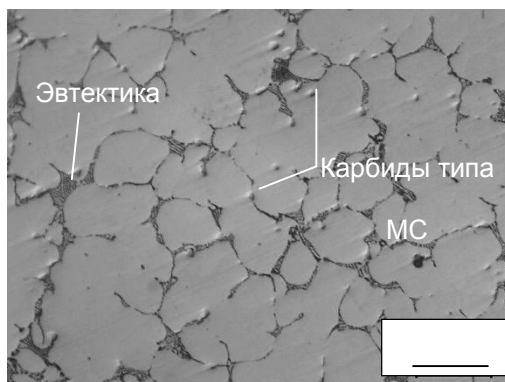


Рис. 1. Микроструктура наплавленного металла

Объемная доля эвтектических карбидов находится в пределах  $8...11\%$ . В результате частичного перемешивания основного и наплавляемого металлов при оплавлении доля карбидных выделений по толщине наплавленного слоя снижается к границе сплавления на  $20...30\%$ . Объемная доля карбидов на основе ванадия составляет  $1,4\%$ .

Наличие упрочняющей фазы, которая выделяется как по границам зерен в виде сетки карбидов, так и внутри зерен в виде мелкодисперсных частиц округлой формы, препятствует росту зерен наплавленного металла при увеличении тепловложения. Средний



размер зерна составляет 18 мкм, что соответствует баллу 8 по ГОСТ 5639-82.

О наличии мартенсита свидетельствует наличие игольчатой структуры, обнаруженной методом растровой электронной микроскопии. При увеличении в 2000 раз внутри зерен, отделенных сеткой карбидов типа  $M_6C$ , наблюдаются дополнительные границы раздела, разбивающие зерна на отдельные составляющие (рис. 3,б).

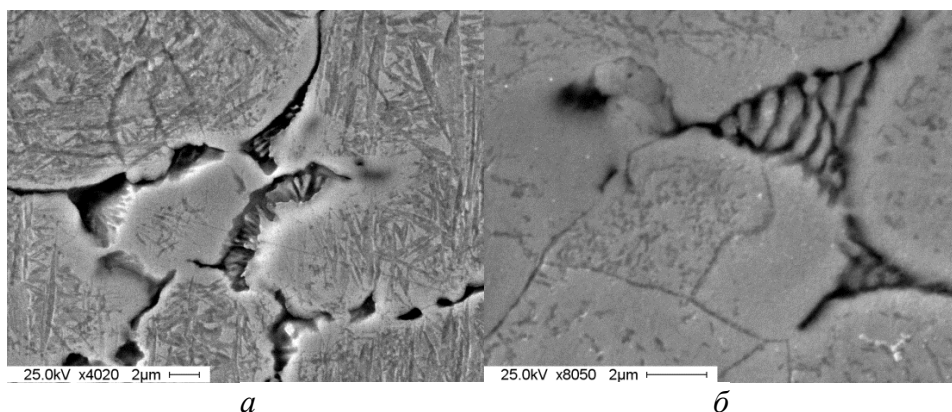


Рис. 3. Структура наплавленного металла: *а* – мартенситные иглы, *б* – субструктура

Внутри некоторых образовавшихся субзерен видны более мелкие выделения (рис. 3,б). Предположительно это могут быть частицы карбида ванадия типа  $V_8C_7$ , которые являются упорядоченной фазой внедрения [6]. Для подробного изучения природы включений необходимо воспользоваться методом рентгеноструктурного анализа.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что при научном исследовании структуры наплавленного металла необходимо использовать несколько методов и приборов металлографического анализа, к ним относятся оптическая, электронная микроскопия и рентгеноструктурный анализ.

#### **Список информационных источников**

1. Колганов А.Л. Сварочные работы. Сварка, резка, пайка, наплавка. Учебное пособие // – 2003. - №1. – с. 408.
2. Афанасьев В.К., Смирнов А.Н. Наплавочные сплавы // -2005. – с. 253.
3. Гладки П.В., Переплётчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка // - 2007. – с. 296.
4. Бровер А.В. Структурные особенности процесса поверхностного упрочнения стали концентрированными потоками энергии // - 2005. – с. 182.



5. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология свойства покрытий // - 2000. – с. 34-38.
6. Панин А.В., Мельникова Е.А., Перевалова О.Б. и др. Формирование нанокристаллической структуры в поверхностных слоях стали ЭК0181 в процессе ультразвуковой обработки // Физическая мезомеханика. – 2009. – С. 83-89.

## **БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ**

***Бортников И.Д.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

### **Проблема измерения поликристаллических полупроводников**

Одним из перспективных и дешевых материалов для изготовления солнечных батарей является мультикремний, производство, которого налаживается в Иркутске. Поэтому технология его изготовления требует детального измерения, прежде всего: удельного сопротивления. Измерение этого параметра в поликристаллическом материале до сих пор является сложной задачей, вследствие наличия в кристалле межзеренных границ, что затрудняет для измерения на постоянном токе по известным методам, таким как четырехзондовый и его разновидности, Вандер-Пау, эффект Холла и других. В данной работе для измерения этих параметров рассматриваются бесконтактные СВЧ методы.

### **Анализ бесконтактных методов измерения удельного сопротивления кремния**

*Контактный метод*, основан на регистрации протекания тока через образец. Параметры полупроводника можно определить различными способами [5]. Путем измерения фотопроводимости, фототока, фото-ЭДС, ЭДС Холла, магнитосопротивления, фотолюминесценции и т.д. Достоинство контактных методов это простота реализации. Основным недостатком таких методов является необходимость создания омических контактов или p-n переходов. А это сопровождается нагревом материала, что приводит к изменению

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Юрченко А.В., д.т.н., профессор кафедры информационно-измерительной техники ИНК ТПУ

электрофизических и рекомбинационных характеристик полупроводников. Более того, подобные методы предусматривают протекание тока через образец, что делает невозможным осуществление измерений в поликристаллическом полупроводнике из-за наличия межзеренных границ в объеме кристалла.

*Бесконтактные методы* основаны на поглощении электромагнитной энергии свободными носителями. Бесконтактные методы, разделяются на оптические и радиоволновые методы [2,3,4]. *Оптический метод* предложен еще в 1956 году [6] когда возбужденные импульсом видимого света ННЗ зондировались лучом инфракрасного света. Инфракрасная диагностика пластин (томография) с использованием лазерных сканнеров и компьютеров достаточно дорога и их применение оправдано лишь в случае кремния высокого качества и однородности по всему объему. Кроме того оптические методы обладают меньшей чувствительностью чем радиоволновые методы.

Большую группу представляют радиоволновые методы, которые подразделяются на *резонаторный и волноводный*. Резонаторный метод основан на регистрации добротности резонатора, в котором размещается образец. Достоинства таких устройств можно выделить: высокую чувствительность и локальность. А их недостатки это низкая экспрессность и громозкость. При волноводном методе, образец размещается в волноводе, регистрируется коэффициент отражения или пропускания. Такая установка имеет достоинство в простоте реализации, но она с низкой чувствительностью применяется для малых образцов.

В настоящей работе рассматривается *автодинный метод* ранее предложенный в работах [1] и рассмотренный нами в данном докладе. Принцип работы автодинного метода основан на использовании так называемого автодинного эффекта, что позволяет совместить источник и приемник СВЧ излучения в одном конструктивном модуле. Прибор с автодиным датчиком имеет высокую чувствительность и работает на широком диапазоне частот.

#### **Описание принцип работы автодинного датчика**

Автодинный датчик М-55314 5-мм диапазона длин волн, выполненный по тонкопленочной технологии, имеет малые размеры, предельно простую конструкцию (рис.1) и содержит два основных компонента: поликоровую подложку, на которой располагается резонансная система в виде отрезка щелевой линии, бескорпусный диод Ганна и металлический корпус с элементами подстройки. Корпус состоит из двух частей 1, в одной из которых выполнено круглое

отверстие **2** диаметром 5 мм для ввода-вывода электромагнитного СВЧ излучения. Выводы **3** активного элемента изолированы от корпуса.

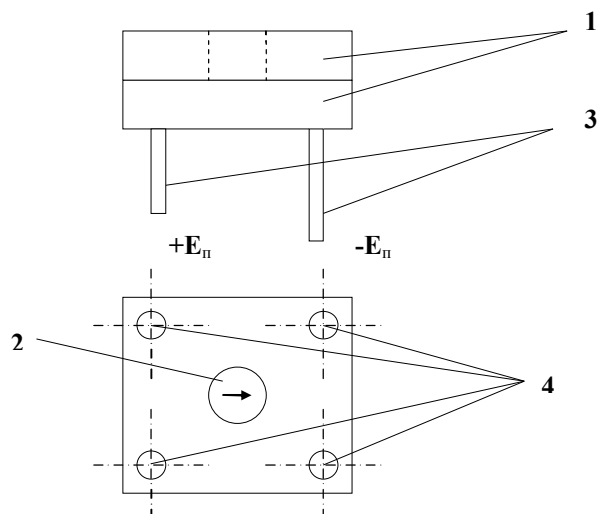


Рис.1. Автодинного датчика М-55314: **1** - корпус; **2** - проводники питания; **3** - отверстие для ввода-вывода электромагнитного излучения (стрелка показывает направление вектора напряженности электрического поля  $E$ ); **4** - крепежные отверстия

В ходе работы была собрана установка, структурная схема которой представлена на рис. 2. Установка функционирует следующим образом. Датчик 1 излучает в непрерывном режиме СВЧ волны в направлении объекта контроля ОК. Волны, отраженные объектом контроля, попадая в антенну датчика 1, вызывают изменения потребляемого им тока (автодетектирование), что и регистрируется в качестве полезного сигнала в блоке 2, выполняющем также функции источника питания датчика 1 (схема выделения автодетекторного сигнала, входящая в состав блока 2. Выходной сигнал (напряжение постоянного тока) от блока 2 поступает на блок аналогово-цифровых преобразователей 3, после чего оцифрованный сигнал может быть обработан с помощью ЭВМ 4. Для получения двумерной картины объекта контроля необходимо его сканирование в плоскости его поверхности, что достигается при использовании управляемого ЭВМ 4 посредством блока 5 сканирующего устройства 6. Оно содержит два шаговых двигателя и передвигаемую ими площадку, на которой укрепляют объект контроля. Результаты сканирования представляются в виде двумерного массива данных, на основе которого строится цветное изображение объекта, несущее информацию об отражающих свойствах его различных участков.

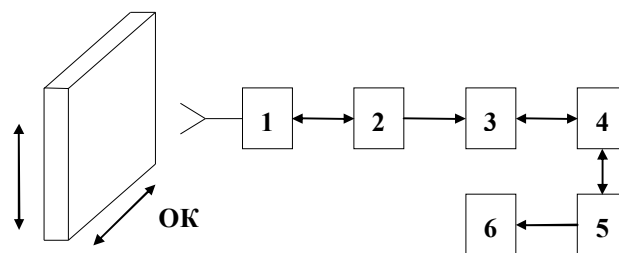


Рис. 2. Структурная схема дефектоскопической установки: 1 - датчик М-55314 с рупорной антенной; 2 - блок выделения сигнала автодетектирования; 3 - блок АЦП; 4 - ЭВМ; 5 - блок управления сканирующим устройством; 6 - сканирующее устройство; ОК - объект контроля

### Список информационных источников

1. Чихман А.В., Мызгин В.С., Воторопин С.Д., Юрченко В.И., Крылов С.В. Автоматизированная установка на основе автодинных датчиков КВЧ-диапазона для контроля материалов. Электронная промышленность. №1-2, 1998 г.
2. Гордиенко Ю.Е., Старостенко В.В. Измерение толщины и удельного сопротивления с помощью техник СВЧ. Материалы Всесоюзного симпозиума «Генерация СВЧ колебаний на эффекте Ганна», Новосибирск, 1974, с.366.
3. Наливайко Б.А., Воторопин С.Д. Резонаторный метод контроля полупроводников. – Электронная техника, сер.12, Физико-химические методы контроля в электронике. 1971, вып.4(10), с.8-11.
4. Литвин С.В., Юрченко В.И. Исследование многослойных эпитаксиальных структур проходном резонаторе. – Электронная техника. Сер.2, Полупроводниковые приборы, 1981, вып.7(150), с.2-6.
5. Обзоры по электронной технике. Измерение удельного сопротивления полупроводниковых материалов методом сопротивления растекания. (Малышев В.А. – М. 1978 вып.6(204), сер. Полупроводниковые приборы).
6. N.Y Harrik, Y Appl. Phys 27(12), 1956.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

**Букатин А.Д.<sup>1</sup>**

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

Современные технологии направлены на облегчение нашей жизни. Люди стараются заменить человеческий труд машинным, стремятся сделать это не только на производстве, но и в повседневной жизни. Сегодня везде применяют автоматизацию. Поэтому современные машины умеют делать некоторые вещи за человека, при этом конструктивно эти машины становятся намного сложнее своих предшественников (например: автоматическая КПП в автомобиле и механическая КПП). Для проектирования таких машин инженерам приходится проделывать намного больше работы, чем это было прежде, к тому же желательно делать эту работу как можно быстрее потому как в современном мире технологии развиваются очень быстро и такое промедление серьёзно снижает конкурентную способность машины на рынке.

Поэтому в конструкторском проектировании тоже появились системы автоматизации расчётов, для облегчения труда конструктора. Эти системы называются САПР – система автоматизированного проектирования.

Проектные организации, осуществляющие проектирование без систем автоматизированного проектирования или слабом их использовании, оказываются на грани банкротства из-за больших материальных и временных затрат на проектирование.

В настоящее время при подготовке специалистов по машиностроительным специальностям большое внимание уделяется вопросам изучения автоматизации проектирования. Выпускники вузов, не владеющие знаниями и умениями работать в САПР, не могут считаться полноценными специалистами.

Однако и сам процесс обучения довольно труден, бывает проблематично донести до обучающихся некоторые моменты сложные для восприятия. Для облегчения понимания таких моментов применяются различные мультимедийные пособия, в которых информацию стараются преподнести наиболее понятно и развёрнуто. В

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Логвинова Н.А., ст. преподаватель кафедры механики и инженерной графики МиИГ

САПР существуют приложения, которые могут рассчитывать геометрические параметры конструкций, механизмов. Эти программы просто делают расчёты. Хотя было бы неплохо иметь такую программу на компьютере, которая не просто бы считала какие либо параметры, а показывала нам, как правильно это делать. Благодаря чему студенты бы избавился от необходимости перелопачивать горы учебников и учебных пособий в поисках нужной формулы или правила, а преподавателю возможно пришлось бы реже объяснять студенту одно и то же.

В связи с этим мы решили попробовать свои силы в создании самостоятельного проекта – программы для автоматизированного расчёта цилиндрических зубчатых передач с косыми зубьями. Данные механические передачи имеют наибольшее распространение в машиностроении из всех существующих.

Первым шагом при создании программы была подготовка теоретической базы, т.е. сбор всех формул для расчётов и справочных данных для выбора коэффициентов и т.д. Затем был создан и записан в виде блок схемы алгоритм программы. Далее следует самая трудная задача – написание программы на языке программирования delphy.

Разрабатываемая программа будет использовать несколько оконных интерфейсов. При запуске программы будет открываться главное окно. В главном окне планируется выполнить панель инструментов, с помощью которой можно запустить новый расчет цилиндрической передачи, совершать переходы по этапам расчётов, так же эта панель предоставляет доступ к теоретической информации по расчётам и справочной системе программы. При предъявлении особых требований к проектируемой передаче, например жесткие требования к массе или габаритам можно изменять марку материала и вид термообработки, нажав кнопку, после чего откроется окно. В нем можно выбрать соответствующую марку стали и вид термообработки. После корректировки данных сразу происходит перерасчет, и результаты обновляются в главном окне программы.

Программа будет последовательно предоставлять пользователю формулы для расчета и информацию для выбора некоторых величин и коэффициентов, в виде таблиц. Пользователь сам сможет производить расчёты. Эти же расчеты будет выполнять, и программа и в конце выведет таблицу с геометрическими параметрами передачи. Таким образом, разрабатываемая нами программа будет носить обучающей характер и наглядно показывать пользователю, как именно считаются параметры зубчатых цилиндрических передач. А по завершении расчётов пользователь сможет проверить их правильность. Считаем, что

разрабатываемая программа будет востребована студентами при изучении дисциплины «Детали машин и основы конструирования».

В программу планируется внести блок для самоконтроля. С его помощью студенты смогут проверить свои знания и подготовиться к теоретическим вопросам при защите своего курсового проекта.

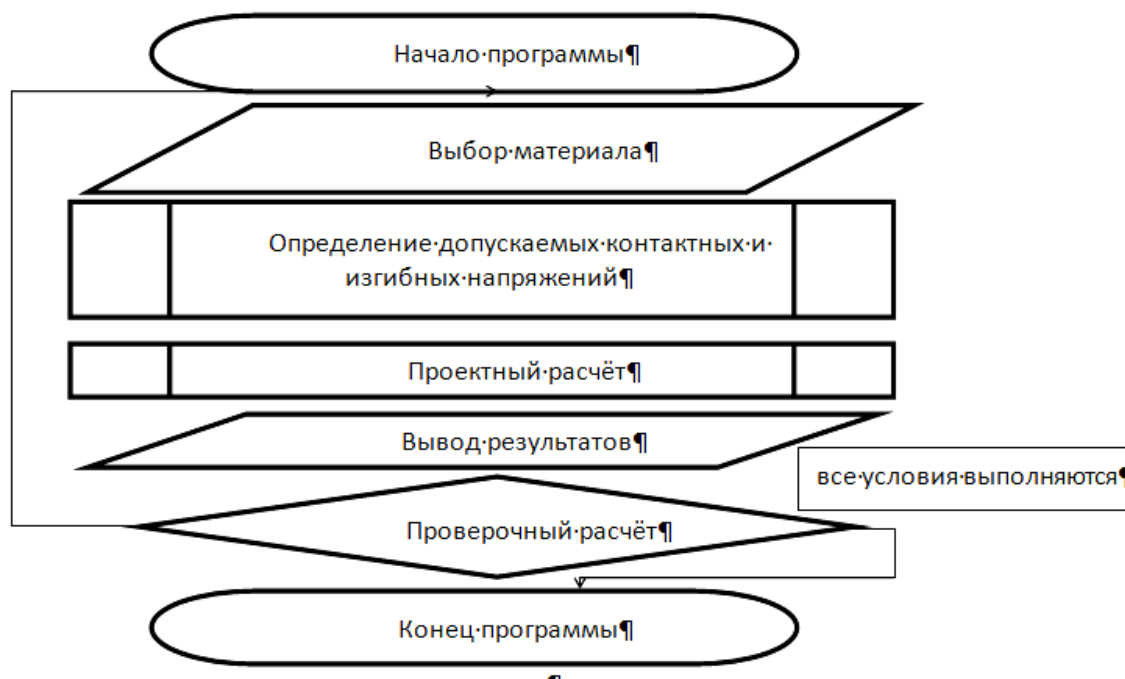


Рис. 1. Упрощённый алгоритм программы

### Список информационных источников

1. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для студ. техн. спец. вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 496 с.
2. Андриенко Л.А., Бойков Б.А., Ганулич И.К. и др.; Под ред. Ряховского О.А. Детали машин: Учеб. Для вузов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 544 с.
3. Осипов Д. Delphi Профессиональное программирование: Изд-во «Символ» Санкт-Петербург – Москва, 2006. – 1056 с.
4. Пестриков В., Маслобоев А. Delphy на примерах: Изд-во «ВБХ-Петербург» Санкт-Петербург, 2005. – 496 с.

## ИЗМЕРИТЕЛЬ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ОБЪЕКТА

**Бурганова С.Я.<sup>1</sup>, Коледа А.Н., Барбин Е.С.**

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Создание микроэлектромеханических устройств (МЭМС) за последние несколько лет выросло в наиболее быстро развивающуюся и большую отрасль электронной промышленности [1]. Можно указать такие области применения МЭМС как:

- микрооптоэлектромеханика (дисплеи, адаптивная оптика, оптические микрокоммутаторы, быстродействующие сканеры, управляемые матрицы микрозеркал);
- ВЧ – устройства (ВЧ - коммутаторы, перестраиваемые фильтры и антенны, фазированные антенные решётки и др.);
- измерители перемещений (гироскопы, акселерометры);
- сенсоры вибраций, датчики давления, механических напряжений, микрофоны;
- микродвигатели, микрогенераторы энергии;
- устройства для работы с микрообъёмами жидкой среды и для применения в биологии, в биочипах, при создании нового класса химических сенсоров.

Как видно, диапазон практических применений МЭМС исключительно большой. Рынок технологий и устройств МЭМС находится в стадии бурного развития. Он приносит миллиардные прибыли и является одним из самых перспективных рынков XXI века (рис.1).

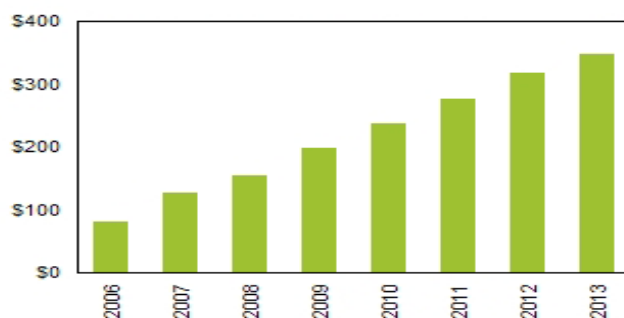


Рис.1. Объем прибылей в рамках мирового рынка МЭМС гироскопов (млн долл.)

Одним из важных достижений МЭМС технологий является создание микромеханического гироскопа. Из всех МЭМС устройств в

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения ИНК ТПУ



настоящее время именно микромеханические гироскопы развиваются наиболее высокими темпами. Микромеханические гироскопы (ММГ) измеряют угловые скорости подвижных объектов различного назначения. Широко используются в автомобильной промышленности в системах управления, безопасности и комфорта автомобиля; в системах ориентации и навигации совместно с GPS, GLONAS. ММГ придают новые функциональные возможности мобильным устройствам, включая смартфоны, телефоны, видеокамеры, например, для стабилизации изображения, устранения его «дрожания». Двухосный гироскоп способен обеспечить электронную стабилизацию изображения и устранить эффект ручного толчка.

Целью данной статьи является разработать поэтапное моделирование конструкции микромеханического гироскопа.

Компьютерное моделирование конструкции гироскопа позволяет определить его массогабаритные характеристики для дальнейшего анализа.

В статье рассматривается микромеханический гироскоп (рис.2), имеющий две измерительные оси, что снижает его массогабаритные и стоимостные характеристики в расчёте на одну измерительную ось и повышает информативность.



Рис.2. Функциональная схема микромеханического гироскопа

В состав ММГ входит чувствительный элемент ЧЭ, который представляет собой механическую структуру. Вибропривод (ВП) возбуждает гармонические первичные колебания ЧЭ.

Для управления первичными колебаниями используется преобразователь «ёмкость-напряжение» (ПЕНПК), который измеряет

амплитуду первичных колебаний и подаёт этот сигнал в систему управления первичными колебаниями (СУПК).

При наличии первичных колебаний и измеряемых скоростей  $\Omega_x$ ,  $\Omega_y$  объекта возникают силы Кориолиса, которые вызывают гармонические вторичные информативные колебания ЧЭ.

При наличии скоростей  $\Omega_x$ ,  $\Omega_y$  информативные перемещения элементов ЧЭ (поступательные или угловые) преобразуются преобразователями ПЕН1ВК, ПЕН2ВК вторичных колебаний в напряжения, которые поступают в блоки преобразования выходных сигналов (БПВС1), (БПВС2) обоих измерительных каналов. Эти блоки осуществляют усиление, фильтрацию, коррекцию сигналов, поступающих от ПЕН1ВК, ПЕН2ВК, с целью выделения полезных составляющих, пропорциональных измеряемым скоростям.

Сигналы с преобразователей ПЕН1ВК, ПЕН2ВК поступают также в системы управления вторичными колебаниями (СУВК1, СУВК2) обоих информативных каналов. Корректирующие устройства КУ1, КУ2 и системы управления вторичными колебаниями осуществляют управление ЧЭ по осям вторичных колебаний. При помощи этих устройств осуществляется коррекция и требуемый режим работы.

ЧЭ гироскопа изготавливается из монокристаллического кремния по технологии микроэлектроники (рис.3).

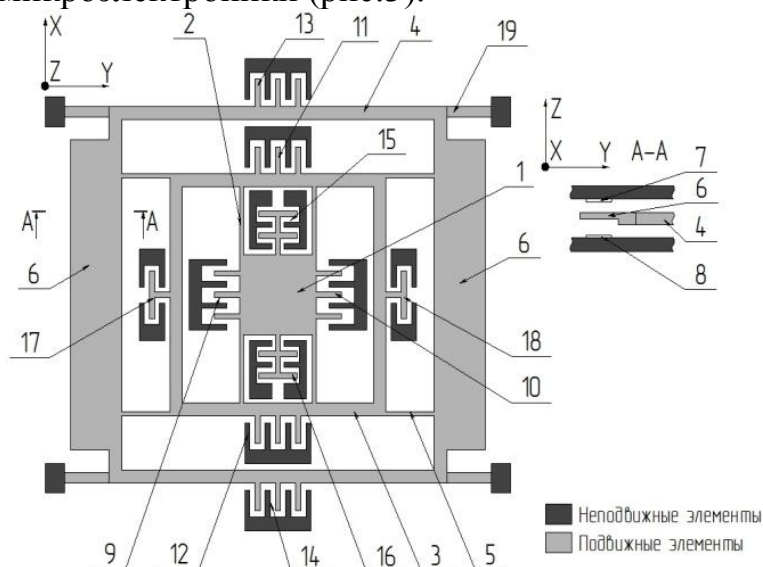


Рис.3. Чувствительный элемент микромеханического гироскопа

ЧЭ содержит инерционное тело 1, установленное на упругом подвесе 2 во внутренней раме 3, которая в свою очередь установлена в наружной раме 4 при помощи упругого подвеса 5. Амплитуды выходных информативных колебаний ЧЭ по оси X измеряются емкостными датчиками 9, 10, по оси Y – емкостными датчиками 11, 12.

Для измерения первичных колебаний используются емкостные датчики 13, 14. Для регистрации выходных колебаний чувствительного элемента наиболее эффективными и технологичными являются емкостные методы при обнаружении очень малых смещений через соответствующее изменение ёмкости, что даёт информацию об угловом вращении основания [2].

На рис. 4 представлен алгоритм расчёта динамической модели гироскопа.

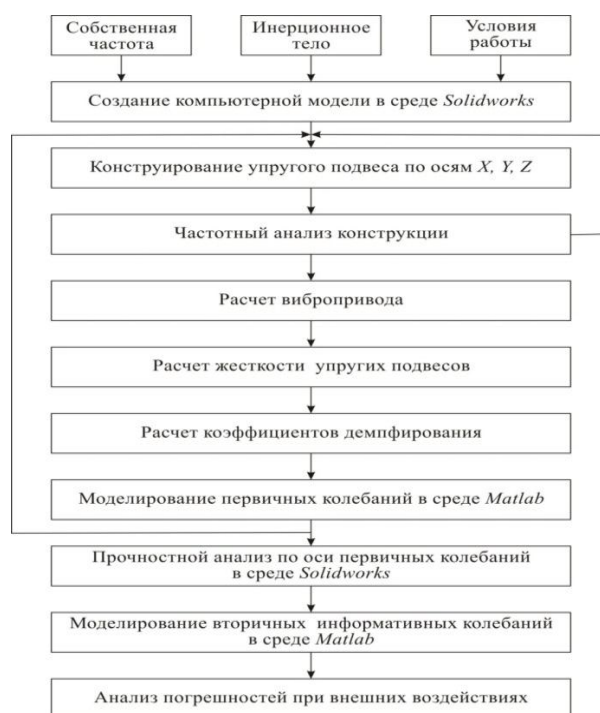


Рис. 4. Схема алгоритма расчёта динамической модели гироскопа

На каждом этапе конструирования проводится частотный анализ чувствительного элемента, чтобы определить характер деформации элементов гироскопа. Результаты частотного анализа представлены на рисунках 5, 6 из которых видно, что при частотах, близких к значению 5,5 кГц элементы гироскопа будут иметь перемещения только вдоль осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно.

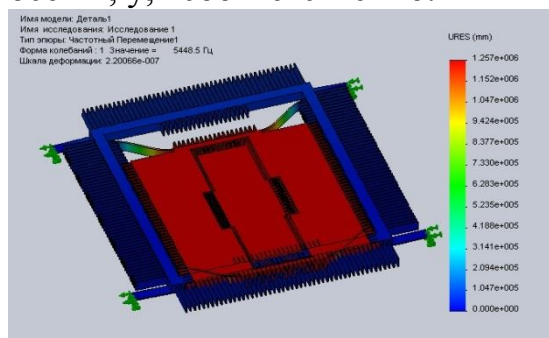


Рис.5. Колебания по оси OY

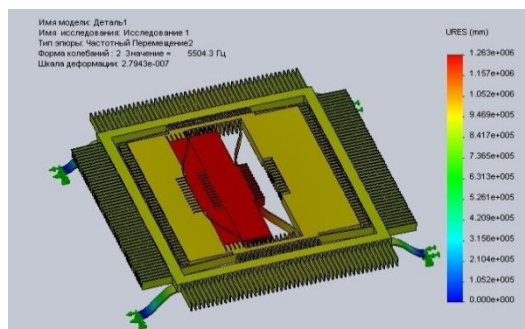


Рис.6. Колебания по оси OX , OZ

Таким образом, компьютерное моделирование позволяет получить данные для оценки поведения системы.

При этом происходит сокращение сроков и стоимости этапов проектирования микромеханических устройств, что особенно важно в условиях жесткой конкуренции между производителями МЭМС.

#### **Список информационных источников**

1. Оптические и микромеханические инерциальные приборы / Боронахин А.М., Лукьянов Д.П., Филатов Ю.В. С-Петербург: Техномедиа / Элмор, 2007. 400с.
2. Нестеренко Т.Г., Плотникова И.В. Динамические характеристики двухкомпонентного микромеханического гироскопа LL–типа // Тр. XII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. Спб. Петербург, 2005. С. 295-297.

### **КРЕМОНОВЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКОСТИ, РАССЛАИВАЮЩИЕСЯ НА ЦЕНТРАЛЬНЫЕ СИММЕТРИИ**

***Быков Д.В., Киреева А.А.<sup>1</sup>***

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

При конструировании технических форм удобно использовать нелинейные преобразования плоскости и пространства. При таком подходе кривая или поверхность получается как изоморфный образ прямой или плоскости [1]. Зная свойства преобразования и положение прообраза можно уже на стадии задания аппарата преобразования предсказать свойства и форму конструируемой технической формы. В данной статье рассмотрены нелинейные преобразования, расслаивающиеся в пучках прямых с несобственным центром на центральные симметрии [2].

Зададим на плоскости пучок прямых, параллельных оси  $Ox$ . На каждой прямой зададим центр симметрии. Для задания центров симметрий можно задать параболу  $k$ , уравнение которой имеет вид:

$$y = ax^n,$$

где  $a$  – некоторый постоянный коэффициент,  $n$  – порядок параболы

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Боровиков И.Ф., к.т.н., доцент кафедры механики и инженерной графики МиИГ

Пусть задана точка  $A(x_A, y_A)$ . Из пучка прямых она выделяет прямую  $s_i$ , описываемую уравнением  $x = x_A$ . Прямая  $s_i$  пересекается с  $k$  в точке  $T_i$ , являющейся центром симметрии. Координаты точки  $T_i$  определяются соотношениями:

$$\begin{aligned}x_{T_i} &= x_A, \\y_{T_i} &= ax_A^n.\end{aligned}$$

Координаты точки  $A'$ , симметричной точке  $A$  относительно центра  $T_i$ , определяются выражениями:

$$\begin{aligned}x_{A'} &= x_A, \\y_{A'} &= 2ax_A^n - y_A.\end{aligned}$$

Опуская индексы, получаем операторы преобразования:

$$\begin{aligned}x' &= x, \\y' &= 2ax^n - y.\end{aligned}$$

Таким образом, на плоскости индуцируется инволюция  $n$ -го порядка. Прямой  $q'$ , описываемой уравнением  $Mx' + Ny' + 1 = 0$ , соответствует кривая второго порядка  $q$ , уравнение которой имеет вид:

$$2aNx^n + Mx - Ny + 1 = 0.$$

Если носителем центров симметрии является парабола  $y = Ax^2 + Bx$ , то операторы преобразования выражаются соотношениями

$$\begin{aligned}x' &= x, \\y' &= 2Ax^2 + 2Bx - y\end{aligned}$$

Таким образом, справедливо следующее предложение: порядок нелинейной инволюции, расслаивающейся в пучке прямых с несобственным центром на центральные симметрии равен порядку кривой, являющейся носителем центров симметрий.

Рассмотренные преобразования можно использовать для моделирования технических кривых и поверхностей в практике конструкторских бюро и исследовательских лабораторий.

#### **Список информационных источников**

1. Иванов Г.С. Конструирование технических поверхностей (математическое моделирование на основе нелинейных преобразований). – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Моденов П.С., Пархоменко А.С. Геометрические преобразования. – М.: МГУ, 1961. – 232 с.

# ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Викторова М.О.<sup>1</sup>**

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Отдел технического контроля продукции (ОТК) является структурным подразделением предприятия и осуществляет контроль качества и приёмку продукции на предприятии.

При оценке качества разрабатываемой и выпускаемой продукции ОТК руководствуется конструкторской и технической документацией, методами и способами оценки качества изделий или отдельных показателей качества в соответствии с нормативной документацией по оценке качества, проведению испытаний и анализу брака и отказов.

Основные функции ОТК: проводит контроль качества деталей, сборочных единиц и готовой продукции в соответствии с договорными условиями и технической документацией; оформляет в установленном порядке документы, удостоверяющие качество продукции; проводит контроль, анализ и оценку качества экспериментальных образцов, опытных образцов, установочных серий и серийной продукции; готовит рекомендации для программ обеспечения качества; осуществляет контроль качества технологических операций; проверяет упаковку и маркировку продукции готовой для отправки потребителю.

В своей работе инженер по качеству руководствуется методическими и нормативными документами по управлению качеством, Законами РФ и иными нормативно-правовыми актами, государственными и отраслевыми стандартами, стандартами предприятия, а также распоряжениями руководства предприятия и своего непосредственного начальника.

Инженер по качеству контролирует выполнение подразделениями заданий и планов по повышению качества выпускаемой продукции; организует и выполняет работы по контролю, испытаниям, приёмке опытных образцов разработанных изделий и изделий серийного производства; оформляет документы, удостоверяющие качество продукции; проверяет и анализирует правильность контроля качества продукции работниками предприятия, которым присвоено право самоконтроля и выданы личные клейма ОТК; занимается сбором, регистрацией, статистической обработкой данных о качестве продукции

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Калиниченко Н.П., к.т.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

на всех этапах её производственного цикла; выполняет и контролирует проведение входного контроля закупленной продукции; проводит статистическую обработку данных о качестве покупных изделий и материалов.

Операционный контроль проводится инженером по качеству в соответствии с маршрутным паспортом на изделие, конструкторской и технической документацией, где описывается порядок проведения, необходимое для контроля оборудование и критерии качества.

Продукция для контроля ОТК поступает в таре или технологических приспособлениях, защищающих её от механических повреждений при транспортировке. Предъявленная для контроля в ОТК продукция, регистрируется в журнале регистрации предъявленной продукции в ОТК. Для дальнейшего контроля инженер по качеству использует сборочный чертеж на изделие, технологическую карту контроля и соответствующий измерительный либо индикаторный прибор.

Согласно требованиям технологической карты контроля проверка изделия проводится с помощью микроскопа МБС-10. Общий вид микроскопа МБС-10 показан на рис. 1.



Рис.1. Общий вид микроскопа МБС-10

Сопроводительной документацией, предъявляемой вместе с изделием, является маршрутный паспорт, в котором указываются все операции, проводимые в процессе монтажа, фамилия исполнителя, дата выполнения операции.

На сборочном чертеже написаны требования, с которых и

начинается контроль изделия.

В процессе монтажа электронных компонентов на печатные платы производится визуальный контроль качества сборки. При этом качество пайки оценивается в соответствии со стандартом IPC-610. Происходит контроль таких параметров как:

- качество паяного соединения;
- наличие компонента;
- отсутствие смещения компонента относительно площадок на печатной плате;
- соответствие положения, типа и номинала установленного компонента конструкторской документации и т.д.;
- визуальный контроль в процессе монтажа электронных компонентов на печатные платы позволяет обнаружить отклонения от заданных параметров, например, возникновение смещения компонента, и оперативно произвести корректировку.

Несоответствия, выявленные в процессе проверки, записываются в маршрутный паспорт с указанием позиций, на которых они выявлены.

Далее на каждое несоответствие технолог пишет решение, на основании которого исполнитель устраняет несоответствия и повторно предъявляет продукцию на контроль ОТК. После положительных результатов проверки изделие отправляется на следующую стадию производственного процесса.

#### **Список информационных источников**

1. ГОСТ 23479-79 Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980. - 12 с.
2. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. Серия 03. Выпуск 39 /Колл.авт. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. - 104 с.
3. IPC-A-610D Промышленный стандарт «Критерии качества электронных сборок». - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. - 397 с.



# **АНАЛИЗ ТИПОВОЙ ПРОГРАММЫ РАБОТ ПО ЭКСПЕРТИЗЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ**

***Гаврила А.Ф.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Продление срока безопасной эксплуатации ГРС (газораспределительная станция), как составной части системы газораспределения, определяется положительным заключением экспертизы опасных производственных объектов. С этой целью проводится оценка технического состояния с выдачей рекомендаций по устранению выявленных несоответствий требованиям НТД, производится восстановление технической документации. Кроме того, по результатам расчетов на прочность, по результатам вибрационной диагностики и другим видам оценки технического состояния рассчитываются и представляются данные по остаточному ресурсу элементов.

Устранение замечаний, выявленных при экспертизе промышленной безопасности, позволяет продлить срок их безопасной эксплуатации и снизить затраты на переоборудование и капитальный ремонт. При проведении работ по экспертизе промышленной безопасности, на предприятиях разрабатывается типовая программа, которая согласовывается с заказчиком работ.

Для выявления не точностей и улучшению проводимых работ проводится анализ технической документации на трубопроводы и обвязки ГРС.

Оценку фактического технического состояния ГРС проводят по результатам технического диагностирования и ЭПБ технических устройств и оборудования, входящих в состав ГРС.

В состав ГРС входят следующие функциональные элементы:

- технологические трубопроводы основного назначения (ТТОН) ГРС;
- сосуды, работающие под давлением;
- запорная, регулирующая, предохранительная арматура,

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Калиниченко Н.П., к.т.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

- устройства измерения расхода газа;
- строительные конструкции зданий ГРС;
- системы защитной автоматики, сигнализации, электроснабжения, связи и КИП;
- блочные котельные, отдельные котлы и системы отопления ГРС в целом;
- система газораспределения и газопотребления ГРС.

Допускается использовать результаты обследований проведенных ранее.

Назначенный срок эксплуатации назначается с момента проведения технического диагностирования.

Перечень работ по каждому функциональному элементу ГРС представлен в соответствующих разделах программы.

Работы по техническому диагностированию ТТОН ГРС, выполняются в соответствии с «Методикой проведения технического диагностирования трубопроводов и обвязок технологического оборудования газораспределительных станций магистральных газопроводов» РД 1.10-098-2004 [1].

Техническое диагностирование ТТОН ГРС предусматривает следующие виды работ:

- проведение обследования технического состояния трубопроводов методами неразрушающего контроля;
- анализ результатов диагностирования и оценка технического состояния;
- выдача рекомендаций по результатам диагностирования;
- определение сроков безопасной эксплуатации;
- определение видов и объемов мероприятий для возможности продления срока безопасной эксплуатации.

Опробование типовой программы работ производилось на ГРС-4 г. Томска. Согласно РД 1.10-098-2004 п.п. 3.3 при проведении обследования ТПО ГРС используют следующие виды контроля:

- визуальный и измерительный контроль - 70%;
- ультразвуковую толщинометрию - 100%;
- ультразвуковую дефектоскопию - 90%;
- твердометрию 30%;
- магнитную структуроскопию 30%;
- вибродиагностический контроль 30%;

- контроль деформации труб надземной части обвязки 100%;
- контроль состояния и выявление мест повреждения изоляции подземных трубопроводов путем проведения электрометрических измерений на территории и за территорией промплощадки ГРС до охранного крана.

Дополнительно при необходимости могут применяться:

- радиографический контроль-30%;
- капиллярная дефектоскопия -30%;
- другие методы, позволяющие уточнить тип дефекта и его геометрические размеры.

Процентное соотношение по каждому виду контроля на практике не соответствует. Документ отправлен на доработку.

Предложено следующие соотношения объемов контроля по каждому методу диагностики:

- визуальный и измерительный контроль 100%;
- ультразвуковую толщинометрию – 80%;
- ультразвуковую дефектоскопию -100%;
- твердометрию 60%;
- вибродиагностический контроль 20%;
- контроль деформации труб надземной части обвязки 100%;
- радиографический контроль-50%;
- капиллярная дефектоскопия -30%.

Эффективность применяемых методов, средств и технологий комплексного диагностического обследования ТТОН ГРС в таком процентном соотношении позволяет полностью проконтролировать ГРС с минимальными затратами времени, и улучшения объема контроля сварных соединений к качеству проводимых работ.

#### **Список информационных источников**

1. РД 1.10-098-2004. Методика проведения комплексного диагностирования трубопроводов и обвязок технологического оборудования газораспределительных станций магистральных газопроводов. – М. Стандарт организации ЗАО.2004. – 10 с.

## ФРАКТАЛЫ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

*Доржиев Д.Х., Попов А.А.<sup>1</sup>*

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

Мир, окружающий нас, постоянно меняет свой облик. Существенный вклад в эти перемены вносит наука, порождая новые понятия, новые средства описания и исследования привычных или только что открытых объектов.

Одним из таких понятий является фрактал, который ломает устоявшиеся стереотипы о геометрии и математике в целом.

**Фрактал** (*fractus* — дробленный) — термин, означающий геометрическую фигуру, обладающую свойством самоподобия, то есть составленную из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. В более широком смысле под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность, либо метрическую размерность, строго большую топологической.

Фракталы — не просто сложные фигуры, сгенерированные компьютерами. Все, что кажется случайным и неправильным может быть фракталом. Теоретически, можно сказать, что все, что существует в реальном мире, является фракталом, будь то облако или маленькая молекула кислорода.

Изменяя и комбинируя окраску фрактальных фигур можно моделировать образы живой и неживой природы (например, ветви дерева или снежинки), а также, составлять из полученных фигур «фрактальную композицию». Фрактальная графика, также как векторная и трёхмерная, является вычисляемой. Её главное отличие в том, что изображение строится по уравнению или системе уравнений. Поэтому в памяти компьютера для выполнения всех вычислений, ничего кроме формулы хранить не требуется. Только изменив коэффициенты уравнения, можно получить совершенно другое изображение. Эта идея нашла использование в компьютерной графике благодаря компактности математического аппарата, необходимого для ее реализации. Так, с помощью нескольких математических

---

<sup>1</sup> Научный руководитель: Потапова Л.А., доцент кафедры механики и инженерной графики МиИГ

коэффициентов можно задать линии и поверхности очень сложной формы.

При помощи фракталов можно сжимать произвольные изображения с некоторой потерей качества, аналогично сжатию JPEG. Правда, фрактальное сжатие дает лучшие результаты. Методы компрессии, основанные на RLE, Huffman или LZW, не учитывают природы сжимаемых данных и поэтому дают неудовлетворительные результаты при обработке изображений.

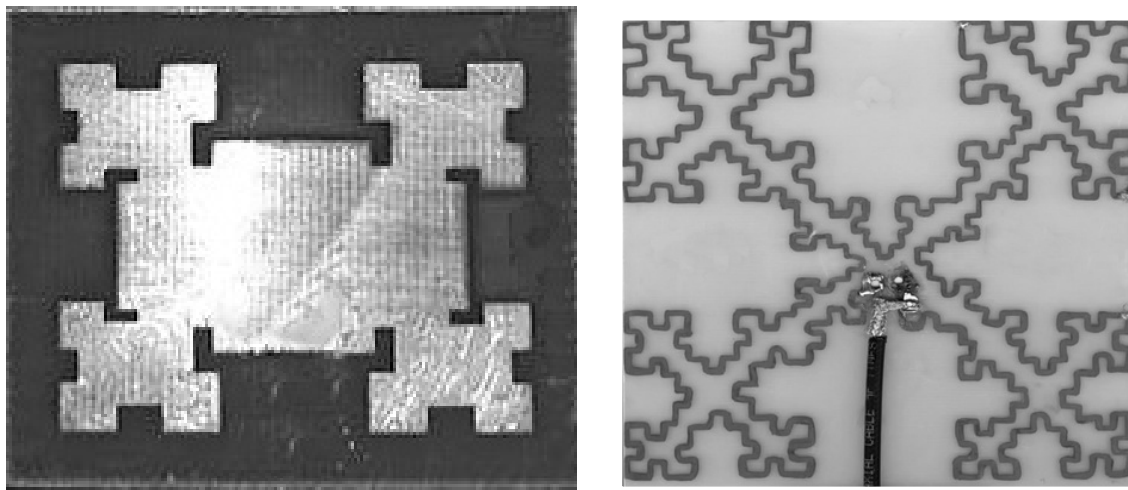


Рис.1 Виды фрактальных антенн для телевизионных приемников

Фракталы находят все большее и большее применение в науке и технике. Использование фрактальной геометрии при проектировании антенных устройств было впервые применено американским инженером Натаном Коэном, который тогда жил в центре Бостона, где была запрещена установка на зданиях внешних антенн. Натан вырезал из алюминиевой фольги фигуру в форме кривой Коха и наклеил её на лист бумаги, а затем присоединил к приёмнику. Оказалось, что такая антенна работает не хуже обычной. И хотя физические принципы работы такой антенны не изучены до сих пор, это не помешало Коэну основать собственную компанию и наладить их серийный выпуск.

Дальнейшее развитие этого направления в построении антенн показало, что при помощи фракталов можно значительно уменьшить размеры конструкции, и расширить полосу рабочих частот, т. е. можно создать широкополосную антенну. Последующие математические расчеты показали, что действительно широкополосная антенна, диапазон частот которой может охватить весь радиоволновой спектр, должна иметь фрактальную форму.

Исследования в этой области привели к широкому практическому использованию фрактальных антенн в мобильных устройствах. Их компактность и широкополосные свойства сделали их незаменимыми в беспроводной связи, в Bluetooth, Wi-Fi и GSM стандартах. Таким образом, в одном гаджете, например, в мобильном телефоне, смартфоне, КПК, удалось разместить все эти устройства. Многие микроволновые устройства тоже используют фрактальные антенны. Отсутствие широкого применения фрактальной конструкции таких антенн в производстве, объясняется тем, что патентом на производство и внедрение фрактальных систем в антенной промышленности владеет весьма ограниченное количество компаний.

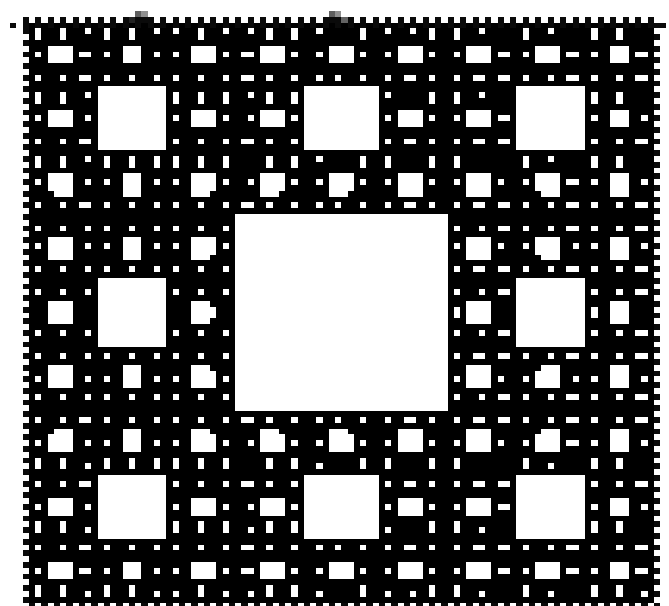


Рис. 2 Антенна для сотовых телефонов

В ближайшем будущем фрактальное направление в построении антенн приведет к развитию и повсеместному внедрению этой технологии. Существует мнение, что исследования в этом направлении, математические расчеты для совершенствования подобной фрактальной формы, неизбежно приблизят нас к конструкции идеальной антенны.

#### **Список информационных источников**

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 656с.
2. Божокин С.В., Паршин Д.Д. Фракталы и мультифракталы – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001, 128с.

## **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В РЕМОНТЕ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ**

*Евсеев С.Г., Мишурова Т.А.*

Томская область, как известно, богата своими природными ресурсами, в том числе нефтью и газом. Столицей томской нефти можно считать г. Стрежевой, расположенный на самом севере Томской области и приравненный к территории крайнего севера.

Вся жизнь города вращается вокруг добычи нефти и газа, поэтому там располагается главный офис компании «Томскнефть» и множество сервисных компаний, обслуживающих как «Томскнефть», так и другие предприятия нефтедобывающей промышленности.

Работа проходила на участке по ремонту насосно-компрессорных труб, нашей целью было ознакомление с применяемыми методами неразрушающего контроля в процессе ремонта труб НКТ. Перед нами были поставлены определенные задачи для достижения данной цели. Во-первых, познакомиться со всем циклом ремонта труб НКТ. Во-вторых, ознакомиться с работой установки комплексного контроля «УРАН 3000Д», путем изучения документации и непосредственной работы с ней.

Износ НКТ происходит во время эксплуатации нефтедобывающих скважин. Воздействие агрессивных сред и механический износ оставляют на теле трубы и в толще металла недопустимые дефекты, а, следовательно, эксплуатировать их без полной диагностики и ремонта невозможно.

Технологический процесс ремонта НКТ состоит из нескольких стадий. Первая стадия включает в себя сортировку, разбраковку, промер длины труб, подлежащих ремонту. Данные операции выполняются непосредственно на месторождении перед отправкой в цех. Далее непосредственно в цехе производится мойка внутренней и наружной поверхностей труб. Затем каждая труба подвергается шаблонированию. Данная операция позволяет контролировать соответствие внутреннего диаметра труб требованиям. Затем по транспортной системе труба подается на установку комплексного контроля «УРАН 3000Д». Установка определяет полное состояние трубы, ее группу прочности, наличие различного рода дефектов и утоньшений. Все данные автоматически передаются на информационный дисплей оператора.

Следующей стадией является отворот старой муфты, и затем нарезание новой резьбы с обеих сторон трубы. Далее труба поступает на

установку для наворота новой муфты (замкового соединения). Контроль нового замкового соединения производится на гидроопрессовочной установке. Если труба успешно проходит гидроиспытание, то транспортная система доставляет ее на стадию маркировки.

Таким образом, установка комплексного контроля является важнейшим звеном в процессе ремонта труб НКТ. Разработка екатеринбургских специалистов - «УРАН 3000Д» - состоит из нескольких частей: модуля контроля поперечных дефектов, продольных дефектов, толщины стенки трубы, размагничивания и информационно-измерительного комплекса. Продольная и поперечная дефектоскопия основана на магнитоиндукционном методе контроля.

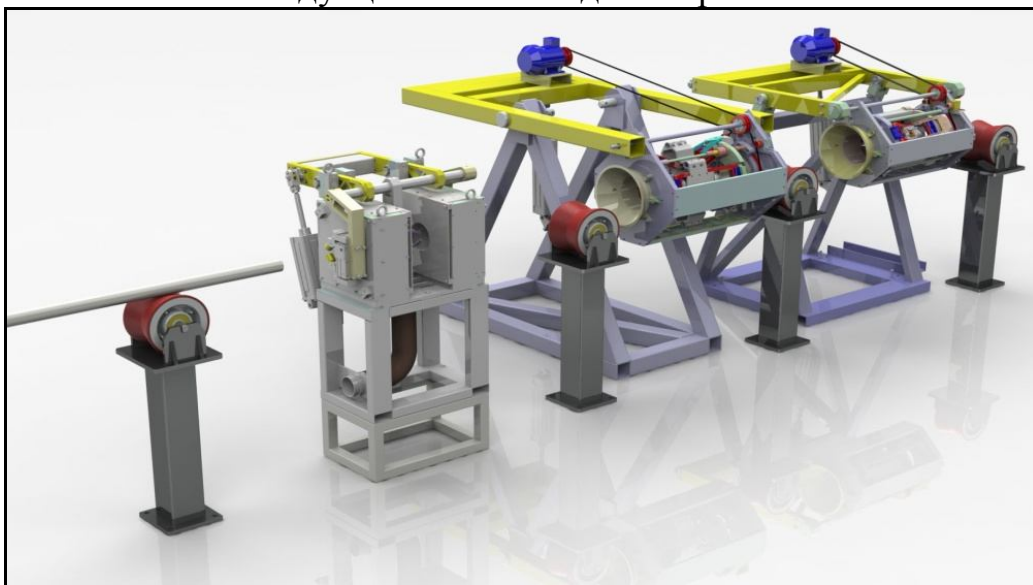


Рис. 1. Общий вид установки УРАН–3000Д–НКТ

Установка обладает рядом особенностей, выделяющих ее перед конкурирующими аналогами. Например, при исследовании поперечных дефектов используется от 12 до 30 датчиков в зависимости от диаметра трубы и опрос каждого датчика выполняется 1000 раз в секунду.

Толщина стенки трубы контролируется с использованием бесконтактного ультразвукового метода, основанного на ЭМА преобразовании. Это позволяет подвергать контролю трубы со следами коррозии и нефтяными загрязнениями на поверхности. Модуль обеспечивает сплошной контроль толщины стенки – без разрывов и пропусков. Это достигается вращением трех датчиков вокруг трубы, каждый из которых производит не менее 80 измерений в секунду.



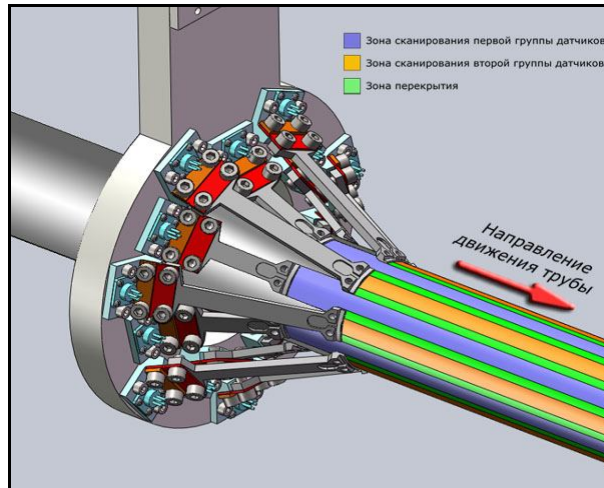


Рис. 2. Схема сканирования трубы модулем поперечной дефектоскопии «УРАН–3000ПМ»



Рис. 3. Модуль ультразвукового контроля толщины стенки трубы

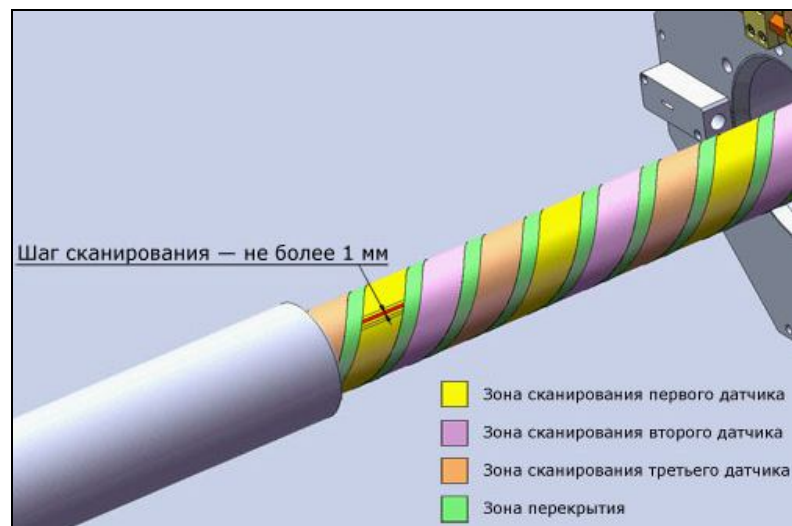


Рис. 4. Зоны сканирования толщины стенки трубы

Установка позволяет также определить группу прочности металла на основании исследования его электромагнитных свойств.

Транспортная система обеспечивает перемещение труб с постоянной скоростью через модули установки. Скорость задается для каждого их типоразмера и согласуется со скоростью вращения роторных элементов установки. Это обеспечивает сканирование трубы без пропусков.

Управление всего процесса контроля обеспечивает информационно-измерительный комплекс, состоящий из двух электронных машин. В нем собираются первичные данные с каждого модуля и обрабатываются до получения общего результата.

После прохождения такого всестороннего контроля, полностью исключается попадание в скважину бракованных труб, что позволяет избежать затрат на ликвидацию аварий и производство дорогостоящих работ по ремонту скважин.

#### **Список используемой литературы**

1. РД 39-1-592-81 «Типовая технологическая инструкция по подготовке к эксплуатации и ремонту насосно-компрессорных труб в цехах центральных трубных баз производственных объединений Миннефтепрома».
2. Инструкция по эксплуатации установки комплексного контроля УРАН 3000Д.

### **ФИЛЬТРЫ – РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

***Едигарева О.В.<sup>1</sup>***

*Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
«Средняя общеобразовательная школа №2», г. Междуреченск*

Человек не может жить без воды. В сутки человеку требуется для питья около 2 литров воды. От качества питьевой воды зависит здоровье человека. Актуальность данной темы связана с тем, что человеку необходима чистая питьевая вода. Главная мировая проблема: как обеспечить население Земли чистой питьевой водой?

Рассмотрим и проанализируем мнение людей о водопроводной воде и способах ее улучшения, и представим рекомендации о наиболее эффективных методах очистки питьевой воды. Для исследования сравним данные социологического опроса учащихся 6 - 9 классов и их

---

<sup>1</sup>Руководитель: Иванова Е.В., учитель биологии

родителей с научной информацией. Объект исследования: водопроводная вода. Предмет исследования: способы очистки питьевой воды.

Цель: изучение способов очистки питьевой воды и выявление наиболее эффективного метода.

Задачи:

- изучить проблемы качества водопроводной воды;
- рассказать о способах водоочистки;
- выяснить путем социологического опроса мнение людей о питьевой воде и о способах ее улучшения;
- дать рекомендации о наиболее эффективных методах очистки питьевой воды.

### **Проблемы качества воды**

Вода для питья должна быть безопасна. От этого зависит здоровье человека. Питьевая вода должна быть обязательно чистой, освобождённой от различных веществ. Вода не должна быть дистиллированной, это необходимо для того, чтобы не нарушить минеральный обмен в организме. Питьевая вода не должна иметь примеси хлора и других токсических веществ.

Проблема чистой питьевой воды стоит остро во всем мире. Хозяйственная деятельность человека изменила химический состав поверхностных и подземных вод, промышленные и бытовые загрязнения проникают в водоносные горизонты.

Несмотря на сравнительно высокую защищенность подземных вод от загрязнения, в них уже обнаруживаются свинец, хром, ртуть, медь, цинк и пр. К наиболее распространенным проблемам качества воды специалисты относят следующие:

- природные механические примеси в подземных водах (песок, глина) и примеси, возникающие в процессе прохождения воды по трубопроводам (ржавчина);
- чрезмерная концентрация в воде железа, марганца;
- жесткость воды, обусловленная наличием солей кальция и магния;
- микроорганизмы и бактерии;
- органические загрязнения (различные нефтепродукты, фенолы, сложные органические соединения);
- вкус, цвет, запах.

Механические примеси делают воду непригодной для питья. Повышенное содержание железа и марганца придает воде неприятный запах, цвет и вкус. Жесткой воду делают известковые породы, они насыщают ее солями кальция и магния. Микроорганизмы и бактерии

вызывают заболевания человека. Длительное употребление такой воды может привести к серьезным заболеваниям.

### **Бытовые (народные) способы улучшения качества воды**

1) Замораживание. Заливаем эмалированную кастрюлю водой и ставим её в морозилку. Через час вынимаем кастрюлю и удаляем верхнюю корку льда - в ней концентрируются тяжёлые примеси. После этого помещаем ёмкость в морозилку. Когда 90% воды превратится в лёд (этот момент нельзя пропустить), его нужно вынуть и использовать по назначению: растопить при комнатной температуре и пить. 10 % воды, которая не замерзла, надо вылить, так как в ней остались вредные примеси.

2) Отстаивание. Водопроводная вода, если её не фильтровать, почти всегда нуждается в отстаивании, особенно если её обеззараживают хлором. Даже 2-3 часа бывает достаточно для удаления многих летучих компонентов.

3) Бутилированная вода. Производители бутилированной воды ведут постоянный контроль за качеством воды.

4) Кипячение. Кипяченая вода не содержит микробов, но в ней растворены другие загрязнители.

5) Фильтрация. Удалить из водопроводной воды излишек веществ, повышающих жёсткость, можно при помощи бытовых фильтров. В быту чаще всего используется кувшинные фильтры со сменным картриджем.

### **Оборудование, применяемое для водоочистки**

Стандартная система водоснабжения подразумевает три этапа:

- очистка от механических примесей;
- коррекция химического состава воды;
- обеззараживание воды.

На каждом этапе очистки применяется определенное оборудование. Первоначально происходит очистка от всяческой грязи с помощью самопромывных и картриджных фильтров. Нормализация химического состава воды осуществляется с помощью нескольких типов фильтров, классифицируют их по виду удаляемого загрязнителя или же по методу очистки.

Фильтры-обезжелезиватели: основное их предназначение - удаление из воды растворенных железа и марганца.

Фильтры, смягчающие воду: снижают жесткость воды благодаря применению специальных засыпок.

Угольные фильтры: активированный уголь используют для улучшения вкуса, цвета, запаха воды. Активированный уголь поглощает остаточный хлор, растворенные газы, органические соединения.

## **Результаты социологического опроса о водопроводной воде и способах ее улучшения**

В ходе исследования был проведён социологический опрос учащихся 6-9 классов и их родителей. Всего участвовало 76 человек. Исследования показали, что 18 человек (24%) считают, что вода идёт из крана чистая, а 58 человек (76%) считают, что вода из крана идёт грязная. Людей, опасаящихся пить обыкновенную водопроводную воду, оказалось 46 человек (61%), кто не опасается - 16 человек (21%), не знали как ответить - 14 человек (18%). На вопрос «пользуетесь ли вы фильтрами, очищающими воду» большинство - 54 человека (71%) ответили отрицательно, а 22 человека (29%) предпочитают пользоваться фильтрами. У людей, пользующихся бытовыми фильтрами, большую популярность имеют фильтры кувшинного типа - 53% человек, у 29% - патронные фильтры, закрепляемые на смесителе, и лишь 18% человек имеют врезные стационарные фильтры, которые на самом деле считаются самыми лучшими водоочистителями. Мнения респондентов по вопросу, какая вода полезнее неодинаково. Ответили, что полезнее пить фильтрованную воду 42 человека (51%), водопроводную кипячённую воду 36 человек (41%), водопроводную обыкновенную - 2 человека (2%), бутилированную воду 10 опрошенных (6%).

Таким образом, люди предпочитают пить фильтрованную воду, зная, что она чище, хотя большинство опрошенных не имеют бытовых фильтров.

### **Фильтры - решение проблемы очистки воды**

Подбор каждой системы водоочистки осуществляется индивидуально, по результатам анализа воды. Сейчас на рынке предлагают очень много разнообразных фильтров, очищающих воду. Насадки на краны во время работы накапливают в себе вредные вещества и, забившись до отказа, начинают их сбрасывать в воду, при этом вода становится хуже, чем до фильтрации.

Мембранные фильтры в них вода разделяется мембраной на два потока - один продавливается через микропоры, способные задержать микроорганизмы, молекулы солей тяжелых металлов, нитратов, нитритов и других примесей, а второй поток, не прошедший через сито, обогащается примесями и сбрасывается вместе с ними в канализацию. Поэтому мембраны чище фильтруют воду. Фильтры обезжелезиватели и патронные фильтры со сменными картриджами необходимо использовать только для определенного типа воды.

От качества питьевой воды зависит здоровье человека. Самый простейший фильтр кувшинного типа поможет очистить воду. Но большей мощностью обладают проточные системы на базе патронных

фильтров, закрепляемых на смесителе (типа фильтры-насадки). Самые прогрессивные очистители питьевой воды - врезные стационарные фильтры. Вода, прошедшая через фильтр, должна быть очищена от наиболее вредных примесей и иметь вкус и запах воды горного источника.

Наслаждайтесь вкусом свежей, очищенной от вредных примесей воды. И будьте уверены в том, что ваша семья, и вы пьете безопасную, здоровую воду!

#### **Список информационных источников**

1. Вода питьевая. ГОСТ 2874-82.
2. Вода. Питьевая вода [Электронный ресурс]/ <http://www.o8ode.ru>
3. Водоподготовка [Электронный ресурс]/ <http://www.vodmir.ru>
4. Небел Б. Наука об окружающей среде т. 1, М.: Мир, 19
5. Питьевая вода [Электронный ресурс]/ <http://ru.wikipedia.org>
6. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»
7. Фильтры очистки воды [Электронный ресурс]/ - режим доступа <http://www.geizer.com/welcome>
- a. Чернова Н.М., Галушин В.М., Константинов В.М. Основы экологии. М.: Дрофа, 1999

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ЗАРОДЫША В ЯЙЦЕ В ПЕРВЫЕ ДНИ ИНКУБАЦИОННОГО ПЕРИОДА**

*Елецкий К.А.*

Российское правительство приняло решение к 2015 году отказаться от импортного мяса птицы и товарного яйца.

На российских птицефабриках в инкубаторах проводят входной контроль внешним осмотром и просвечиванием. Эффективность в среднем составляет 80%, поскольку, не определяется оплодотворённость и жизнеспособность яйца, а только повреждение оболочки, наличие бластодиска, структура желток-белок.

Наиболее эффективными в условиях инкубатора физическими полями для контроля жизнеспособности яйца являются: *тепловое* и *акустическое* поле пульсации зародыша.

- Активное развитие зародыша происходит в первые 48 часов инкубации.
- При проведении эксперимента с ультразвуком нами были обнаружены пульсации зародыша, что является основанием

применения метода акустической эмиссии. Кроме того, тепловое поле, в условиях группового контроля при достаточной чувствительности аппаратуры удобно для отбраковки и не требует контакта с яйцами.

- Исходя из выше изложенного, а также имеющегося опыта акустического и теплового контроля, нами сделан выбор разрабатывать аппаратуру и проводить эксперименты в условиях птицефабрики по этим видам контроля.
- На предприятии «Микроприбор» под руководством Шашкина В.В. (участника нашего проекта) разработаны опытные образцы отечественного тепловизора, параметры которого вполне отвечают поставленной задаче.

Основана на комплексе мер:

-проведение контроля в первые 48 часов инкубации, что позволяет оставить отбракованное яйцо товарным и освободить место для жизнеспособных яиц ;

-полная автоматизация процесса отбраковки на основе программных средств.

- Сейчас ведется разработка инкубатора со встроенным тепловизором. В основу взяты инкубаторы ИФХ 250 и ИФХ 500, выпускаемые ОАО «ПО «Иртыш» г. Омска. На современном этапе развития рынка подобных установок ещё не существует, поэтому момент для их создания наиболее удобный.
- В России число птицефабрик различной мощности более 400, кроме того рынок предполагает охватить фермерские хозяйства и ближнее зарубежье.

#### **Список информационных источников**

1. Кривопишин И.П., Злочевская К.В. Инкубация - М.: Агропромиздат, 1990. – 224с.
2. Пат. 2403711 РФ, Способ определения жизнеспособности зародыша яйца птицы, Долганев Ю.Г., Добренко А.М., Хвосторезов П.Е., Фаина Е.А.

## ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННАЯ НЕИНВАЗИВНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

**Жданов Д.С.<sup>1</sup>, Сырямкин В.И.**

Томский государственный университет, г. Томск

Одним из перспективных направлений развития неинвазивных медицинских диагностических систем являются оптико-телевизионные системы, позволяющие осуществлять получение цветных изображений поверхностей органов и систем органов, обратившихся на прием к медицинским специалистам пациентов. В томском государственном университете был разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий на основе получаемых изображений поверхностей исследуемых органов выносить решение о наличии, либо отсутствии патологического процесса в организме пациента. На рис. 1 представлена функциональная схема разработанной системы.

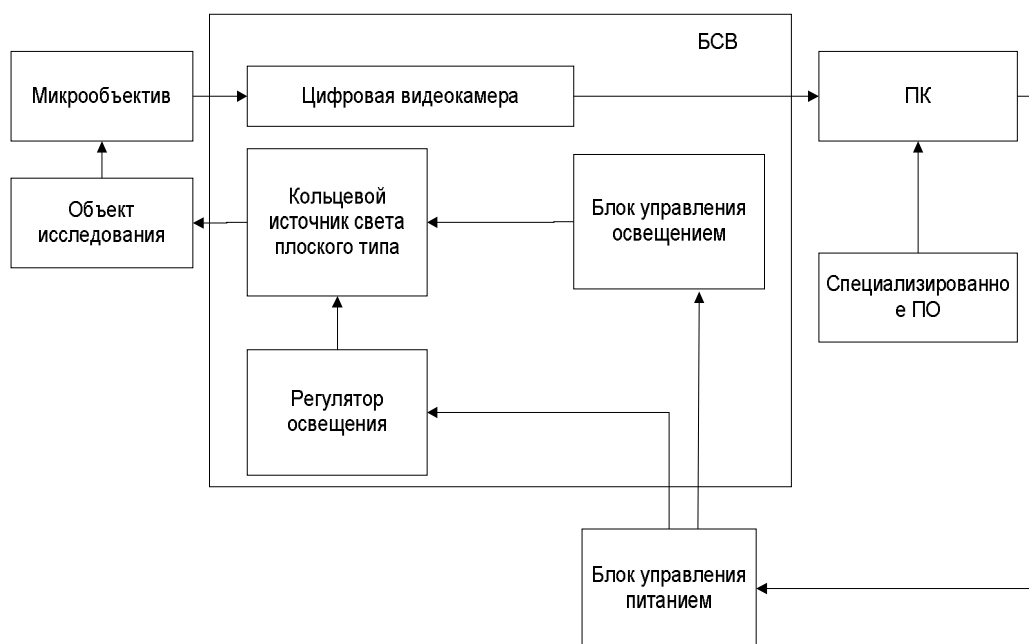


Рис. 1. Функциональная схема опико-телевизионной медицинской диагностической системы

Как видно из схемы, аппаратная часть системы состоит из:

1. цифровой камеры. Путем ее осуществляется получение изображения исследуемого органа;

<sup>1</sup>Сырымкин В.И., д.т.н., профессор, директор УНПЦ «Технологический менеджмент» ТГУ



2. кольцевого источника холодного свечения, основная функция которого состоит в достижении равномерного освещения рабочей зоны на исследуемом органе пациента. Специализированный источник холодного свечения позволяет минимизировать количество бликов, возникающих при подсветке слизистой оболочки внутренних органов человека;
3. регулятора освещения;
4. блока управления освещением.

Работа блока управления и регулятора освещением контролируется специализированным программным обеспечением системы. Программное обеспечение представляет собой автоматизированное рабочее место медицинского специалиста и включает в себя:

1. электронную историю болезни пациента;
2. модуль отображения и редактирования результатов специализированного исследования;
3. модуль обработки и анализа изображений исследуемых органов пациента, обратившегося на прием к специалисту.

АРМ обеспечивает взаимодействия аппаратной и программной частей системы, ведение электронных историй болезней пациентов и обработку получаемых цветных телевизионных изображений с целью постановки предварительного диагноза заболевания пациента. Получаемое изображение фиксируется строго к конкретной электронной истории болезни пациента, обратившегося на прием и хранится, наряду с другими данными пациента, в зашифрованном виде в базе данных (БД) специализированного программного обеспечения системы. Затем, при запуске специалистом функции диагностики состояния исследуемых органов происходит обработка изображения по стандартным алгоритмам, включающая в себя формирование, сглаживание, фильтрацию грубых шумов полученного снимка исследуемого органа. Основным модулем программной части системы является модуль распознавания патологий исследуемых поверхностей органов человека на предмет наличия, либо отсутствия патологического процесса. В данном модуле алгоритмы оценки состояния поверхности органа. Основным модулем программной части системы является модуль распознавания патологий исследуемых поверхностей органов человека на предмет наличия, либо отсутствия патологического процесса. В данном модуле реализованы разработанные в ходе работы над диссертацией алгоритмы оценки состояния поверхности органа.

Обобщая известные подходы преобразования изображений, представим алгоритм распознавания патологий по цветным

телевизионным изображениям органов человека. Для этого нужно преобразовать полученные изображения и выделить информационные признаки, по которым будет происходить сравнение текущего изображения (ТИ), формируемого цветной телевизионной камерой с эталонным изображением (ЭИ), хранимым в базе данных программной части системы. Информативные признаки изображений характеризуются следующим образом:

- а) функцией распределения яркости на изображении поверхности ТИ;
- б) функцией распределения структурных элементов на поверхности ТИ;
- с) функцией определения геометрических параметров структурных элементов на изображении поверхности и степени деформации геометрических элементов для ТИ;
- д) функцией, определяемой параметрами рельефа на поверхности изображения и степенью её деформации ТИ;
- е) функцией распределения цветных элементов на изображении поверхности ТИ;
- ф) функцией, определяемой цветными параметрами на изображениях поверхности органа и степенью её деформации на ТИ;
- г) функцией, определяемой распределением цветового спектра ТИ.

В обобщенном виде алгоритм распознавания, оценки местоположения, ориентации и геометрических характеристик патологий представлен следующим образом:

$$I_n \rightarrow F(Y) \rightarrow F(C) \rightarrow F(\Phi) \rightarrow F(\Pi) \rightarrow \begin{cases} F(\Gamma, D) \\ F(P, D) \\ F(\Phi, D) \\ F(\Pi, D) \\ F(\Pi, D), \end{cases}$$

где  $I_n$  – информативный признак;  $F(Y)$  – функция распределения яркости на изображении поверхности органа;  $F(C)$  – функция распределения структурных элементов на изображении поверхности органа;  $F(\Phi)$  – функция распределения формы на изображении поверхности органа;  $F(\Pi)$  – функция распределения цветных элементов на изображении поверхности органа;  $F(\Gamma, D)$  – функция, определяемая геометрическими параметрами структурных элементов на изображении поверхности органа ( $\Gamma$ ) и степени её деформации ( $D$ );  $F(P, D)$  – функция, определяемая параметрами рельефа ( $P$ ) на изображении поверхности органа и степенью её деформации;  $F(\Phi, D)$  – функция, определяемая параметрами формы ( $\Phi$ ) на изображении поверхности органа и

степенью её деформации;  $F(\Pi, D)$  – функция, определяемая цветными параметрами на изображении органа человека ( $\Pi$ ) и степенью её деформации ( $D$ );  $F(\Pi, \Pi)$  – функция, определяемая цветными параметрами на изображении органа человека ( $\Pi$ ) и характером поверхности исследуемого органа ( $\Pi$ ).

В процессе работы синтезированных прецизионных алгоритмов оценки наличия патологий на цветных телевизионных изображениях поверхностей исследуемых органов человека последовательно происходят необходимые процедуры предварительной обработки изображений (формирование, фильтрация, сегментация и так далее). Затем происходит формирование корреляционных функций и сравнение характеристик ТИ и ЭИ.

На этапе формирования корреляционных функций формируются три цветные взаимно – корреляционные функции (ВКФ), соответствующие красному, зеленому и синему цвету. Эти слагаемые ВКФ описываются следующими выражениями:

$$J_R(\xi, \eta) = K_n \int_S F_1^c(x_1, y_1) F_2^R(x_2', y_2') dx dy$$

$$J_G(\xi, \eta) = K_n \int_S F_1^c(x_1, y_1) F_2^G(x_2'', y_2'') dx dy,$$

$$J_B(\xi, \eta) = K_n \int_S F_1^c(x_1, y_1) F_2^B(x_2''', y_2''') dx dy,$$

где  $F_1^c(x_1, y_1)$  – функция, описывающая цветное ТИ;  $F_2^R(x_2', y_2')$ ,  $F_2^G(x_2'', y_2'')$ ,  $F_2^B(x_2''', y_2''')$  – функции, описывающие соответственно красную, зелёную и синюю компоненту цвета;  $K_n$  – коэффициент пропорциональности;  $S$  – площадь коррелируемых изображений.

#### **Список информационных источников**

1. Буреев А. Ш., Жданов Д. С., Сырямкин В. И., Юрченко В. И. Современные технологии в медицинских приборах для визуализирующей диагностики ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СВЕТОТЕХНИКА №3'2011, стр. 10-12.
2. Никитина Ю.А., Сырямкин В.И., Титов В.С. Особенности обработки цветных изображений в телевизионных системах технического зрения. – Томск, 1991. – 36 с. – ДЕП ВИНТИ 05.08.1991., № 3335 – В91.
3. Сырямкин В. И., Буреев А. Ш., Жданов Д. С. Патент на изобретение (№2429779 от 22 июля 2009 года) «Способ диагностики состояния органов человека или животного и устройство для его осуществления».

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО АНГИДРИТА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**

*Заболотская Е.В.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

С момента появления и до настоящего времени производство фтороводорода в России является источником экологического неблагополучия в местах своего расположения, так как сопровождается выбросами в атмосферу газообразного фтороводорода во время внеплановых остановок производства, образованием и накоплением на отвальных полях отходов в виде кислого или нейтрализованного безводного сульфата кальция.

Решение проблемы утилизации твердых отходов фтороводородных производств, которые загрязняют все составные части биосферы - атмосферу, гидросферу, литосферу, снизит экологическую нагрузку на окружающую среду.

Объектом исследований является твердый отход фтороводородного производства Сибирского химического комбината – фторангидрит.

Первыми опытами была проверена способность фторангидрита заместить бентонитовую глину в буровых растворах. К сожалению, чистый фторангидрит показал неудовлетворительные результаты по плотности и вязкости буровых растворов. Поэтому было принято решение об использовании в качестве добавки к фторангидритовым буровым растворам реоксана, ксантановой камеди, сахара. Опыты с добавкой реоксана оказались также неудовлетворительными, поэтому последующие опыты проводились с добавкой ксантановой камеди и сахара. После определения оптимального количества добавок ксантановой камеди, сахара для снижения себестоимости разрабатываемого ангидритового бурового раствора, а также для обеспечения требуемых значений качества бурового раствора согласно технологическому регламенту возникла необходимость установить максимально возможное количество использования фторангидрита.

Навески фторангидрита в количестве 15 гр.(1 микрон), ксантановой камеди в количестве 0,6 гр., а также сахар в количестве 3,34 гр., смешиваем в железном стакане с водой, в количестве 300 мл. Перемешивание длится в течении 10 минут, для достоверности полного растворения всех компонентов.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Федорчук Ю.М., доцент, профессор, кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ

Компоненты, остающиеся неизменными в каждом опыте получения бурового раствора:  $V \text{ H}_2\text{O} = 300 \text{ мл}$ ;  $M (\text{сахар}) = 3,34 \text{ г}$ ;  $M (\text{ксантановая камедь}) = 0,6 \text{ г}$ . Рассмотрим влияние содержания фторангидрита крупностью 1 микрон на плотность бурового раствора:

Таблица 1  
Влияние содержания фторангидрита крупностью 1 микрон на плотность бурового раствора

№ опыта	Кол-во ф/а (1 микрон), г.	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	15	1,01
2	25	1,01
3	37	1,02
4	49	1,05
5	61	1,1
6	73	1,12

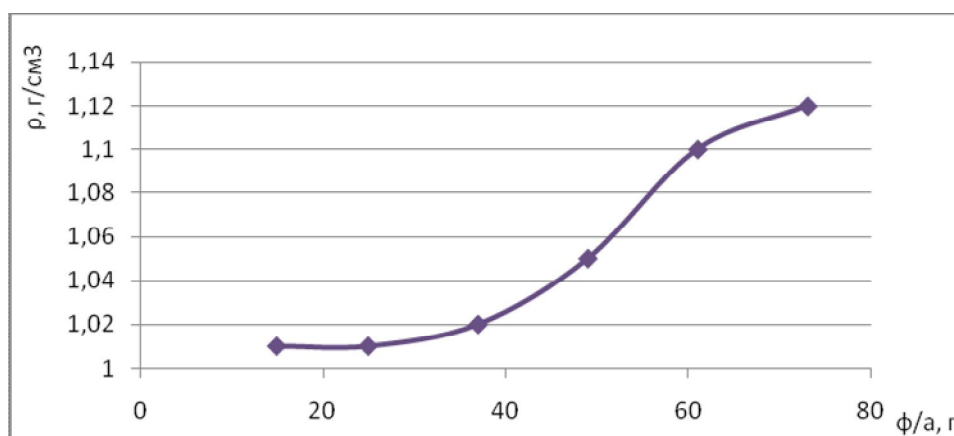


График №1. Зависимость плотности ( $\rho$ ) от концентрации фторангидрита (ф/а)

Таблица 2  
Влияние содержания фторангидрита крупностью 1 микрон на вязкость бурового раствора

№ опыта	Кол-во ф/а (1 микрон), гр.	Вязкость $\mu$ , сР
1	15	$\mu_{600/300} = 14/10$ $\mu_{200/100} = 8/5$ $\mu_{60/30} = 4/3$ $\mu_6 = 1$
2	25	$\mu_{600/300} = 14/9$ $\mu_{200/100} = 8/6$ $\mu_{60/30} = 4/3,5$ $\mu_6 = 2$
3	37	$\mu_{600/300} = 14/10$ $\mu_{200/100} = 8/5$ $\mu_{60/30} = 5/3$

№ опыта	Кол-во ф/а (1 микрон), гр.	Вязкость $\mu$ , сР
		$\mu_6 = 2$
4	49	$\mu_{600/300} = 16/11$ $\mu_{200/100} = 9/6$ $\mu_{60/30} = 5/3,5$ $\mu_6 = 2,5$
5	61	$\mu_{600/300} = 18/12$ $\mu_{200/100} = 10/7$ $\mu_{60/30} = 6/5$ $\mu_6 = 4$
6	73	$\mu_{600/300} = 22/14$ $\mu_{200/100} = 13/8$ $\mu_{60/30} = 7/6$ $\mu_6 = 4$

Рассмотрим влияние содержания фторангидрита крупностью 1 микрон на вязкость бурового раствора.

Заключительным шагом было изучение влияния содержания фторангидрита крупностью 1 микрон на условную вязкость бурового раствора.

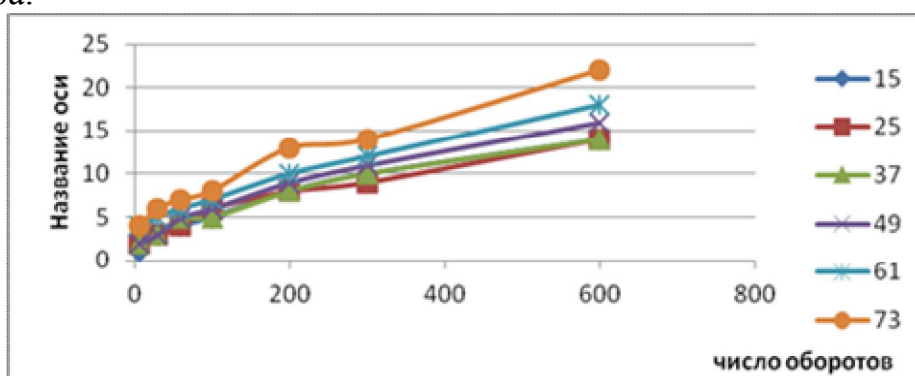


График № 2. Зависимость вязкости от содержания фторангидрита (1 мкм.)

Таблица 3  
Влияния содержания фторангидрита крупностью 1 микрон на условную вязкость бурового раствора

Опыт №	Кол-во ф/а (1 микрон), гр.	Усл. вязкость УВ, с/л
1	15	12
2	25	13
3	37	14
4	49	16
5	61	16
6	73	20

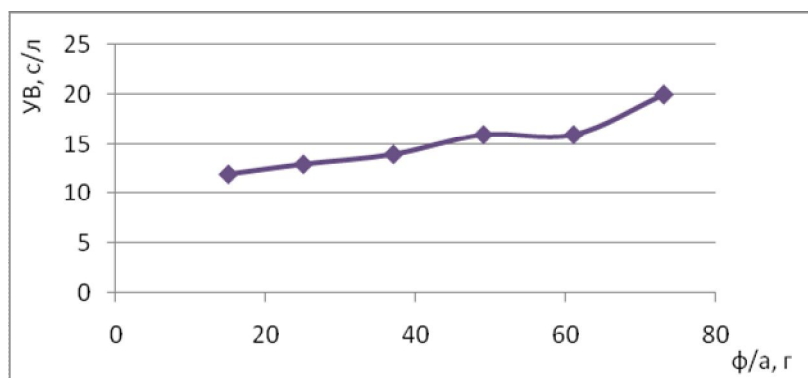


График №12. Зависимость условной вязкости (УВ) от количества фторангидрита (ф/а)

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- На основании проделанных опытов установлено, что фторангидрит способен заменить бентонитовую глину в буровых растворах .
- Оптимальный состав бурового раствора с использованием фторангидрита крупностью 1 мкм: объем воды 300 мл; масса ксантановой камеди 0,6г; масса сахара 3,34 г.; масса фторангидрита 73 г.
- Для уменьшения себестоимости с использованием фторангидрита в буровых растворах последний необходимо измельчать до крупности размера частиц не более 1 мкм.

#### **Список информационных источников**

1. Пеньков А.И. Учебное пособие для инженеров по буровым растворам. – Волгоград, 2000 – 33с.
2. Федорчук Ю.М., Цыганкова Т.С., Волков А.А. Техногенный ангидрит - новый строительный материал Экол. вестн. России. 2009, N 10, с. 12-13.
3. Михеенков М.А. Особенности производства искусственного гипсового камня на основе фторангидрита. Цемент и его применение. 2009, N 6, с. 121-122.
4. Федорчук Ю.М. и др. Технологическая линия производства ангидритового вяжущего. Свидетельство на полезную модель РФ №29681 от 27.05.2003 г. с приоритетом от 01.04.2002 г
5. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: Учеб. для вузов – 4-е изд., пераб. И доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464с.

# ВЫБОР МЕТОДА АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

*Зяблов А.С.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

При сварке и наплавке металлических материалов большая часть легирующих элементов испаряется за счет воздействия высоких температур электрической дуги. Благодаря тому, что средняя температура капель электродного металла и сварочной ванны колеблется в пределах 1900...2500 К некоторые элементы переходят в металл шва не полностью. В таблице представлены коэффициенты перехода С, Mn, Si и Cr в зависимости от способа сварки и наплавки в наплавленный металл [1].

Таблица

Коэффициенты перехода элементов в наплавленный металл

Способ сварки/наплавки	Коэффициенты перехода элементов			
	С	Mn	Si	Cr
В атмосфере без защиты проволокой: Св-08А Св-18ХГСА	0,3...0,4 0,29...0,34	0,39...0,56 0,63...0,69	- 0,5...0,87	- 0,9...0,95
В среде CO <sub>2</sub> : Св-12Х19Н9Т Св-18ХГСА	- 0,8	0,78 0,8	0,78 0,81	0,94 0,94
В среде Ar+5%CO <sub>2</sub> : Св-18ХГСА Св-10ГС	0,6 0,59	0,69 0,41	0,71 0,32	0,92 -
Ручная дуговая	-	0,45...0,55	0,14...0,27	-

Неполное растворение различных элементов может значительно повлиять на свойства металла. Сегодня, при активном исследовании и разработке новых конструкционных материалов, используемых в качестве защитных покрытий, наносимых на детали с использованием высококонцентрированных источников энергии, остается актуальным анализ перехода элементов в наплавленный металл. Подобные исследования позволят разрабатывать наплавочные и сварочные

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Хайдарова А.А., к.т.н., доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ



материалы с учетом коэффициента перехода элементов, что будет способствовать получению наплавленного металла требуемого качества.

Для выбора схемы проведения исследований необходимо проанализировать существующие методы определения химического состава металлов.

Поэтому целью данной работы является сравнительный обзор способов химического анализа состава металлов и сплавов.

Существует ряд методов, позволяющих определить химический состав материалов: волнодисперсионный анализ, эмиссионный анализ, рентгено-флуоресцентный анализ, пробирный анализ.

Все способы определения химического состава металлов основываются на аналитической химии, которая позволяет разработать методы определения компонентов изучаемого образца, решить задачи анализа конкретных объектов.

Основная цель аналитической химии - обеспечить в зависимости от поставленной задачи точность, высокую чувствительность, экспрессность и избирательность анализа. Активно разрабатываются методы, позволяющие анализировать микрообъекты (микрохимический анализ), проводить локальный анализ (в точке, на поверхности и т.д.), анализ без разрушения образца, на расстоянии от него (дистанционный анализ), непрерывный анализ, а также устанавливать, в виде какого химического компонента существуют элементы в материале (фазовый анализ) [2].

Химический анализ состава металлов и сплавов в зависимости от цели подразделяют на качественный и количественный. Качественный анализ позволяет идентифицировать элемент в материале, количественный определить его концентрацию или массу.

Для проведения качественного анализа широко применяется метод стилоскопирования, основанный на визуальном определении того или иного элемента по интенсивности его свечения. Данный метод имеет недостатки: необходимость хорошей подготовки операторов, невозможность определения примесей, субъективность результатов, влияние человеческого фактора, к тому же длительная работа на стилоскопе пагубно сказывается на зрении оператора [3].

Стилоскопирование также как и рентгено-флуоресцентный анализ, не дает информации о содержании углерода, серы и фосфора в сталях. Это ограничение не позволяет проводить полную сортировку и исследование углеродистых и карбидосодержащих сталей [3,4].

Высокую точность дает пробирный метод, который основан на физико-химических закономерностях восстановления металлов, шлакообразования и смачивания расплавленными веществами. Однако для осуществления такого анализа необходима длительная и трудоемкая процедура пробоподготовки [2].

В настоящее время широко используются различные спектрометры: рентгенофлуоресцентный, искровой оптико-эмиссионный, лазерный, ИК-спектрометр, спектрометр индуктивно-связанной плазмы, атомно-абсорбционный, масс-спектрометр.

Данные приборы использует тот же (спектральный) принцип работы, что и стилоскоп, но благодаря современной цифровой автоматической обработке спектра и использованию инертного газа (аргона) позволяют осуществить точный количественный анализ любых типов сталей с высокой точностью в условиях лаборатории, цеха, улицы.

В отличие от портативных приборов, специализирующихся на узком круге задач, стационарные установки универсальны. Это связано, в первую очередь, с тем, что для надёжного количественного анализа требуется набор эталонных образцов для каждого элемента, что неосуществимо при работе с портативными установками. При этом необходимо уделить особое внимание отбору и подготовке аналитических проб, составлению схемы анализа и выбору методов, принципах и путях автоматизации анализа. Поэтому для исследования выгорания элементов новых конструкционных материалов приемлемым является использование стационарных установок, среди которых наибольшее распространение получили оптико-эмиссионные и атомно-абсорбционные спектрометры.

Использование оптико-эмиссионного метода позволяет одновременно определять в пробе несколько элементов. Пределы обнаружения Cr, Al, Hg, As, Ni, Pb составляют 1 - 20 мкг/л. Однако, эмиссионные спектрометры уступают атомно-абсорбционным по воспроизводимости и по селективности [5].

С помощью атомно-абсорбционного метода можно анализировать до 70 элементов в пробе с чувствительностью в интервале  $10^{-4}$  ...  $10^{-9}$  % масс. С применением графитовой печи невозможно определять Hf, Nb, Ta, W и Zr, образующие с углеродом труднолетучие карбиды. Пределы обнаружения большинства элементов в растворах при атомизации в пламени 1-100 мкг/л, в графитовой печи в 100-1000 раз ниже. Относительное стандартное отклонение в оптимальных условиях измерений достигает 0,2-0,5% для пламени и 0,5-1,0% для печи [6].

На основании проведенного обзора можно сделать вывод, что для анализа выгорания химических элементов новых конструкционных материалов в зависимости от параметров режима наплавки высококонцентрированными источниками энергии целесообразно использовать атомно-абсорбционные спектрометры с атомизацией пробы в пламени. Осуществление поставленной задачи возможно с использованием атомно-абсорбционного спектрометра SOLAAR S2/S4.

#### **Список информационных источников**

1. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов. Справочник / под ред. Э.Л. Макарова. – М.: Металлургия, 1991. – 528 с.
2. Золотов Ю.А. Аналитическая химия: наука, приложения, люди. – М.: Наука, 2009. – 324 с.
3. Петров В. И. Оптический и рентгеноспектральный анализ. – Металлургия, 1973. – 285 с.
4. Верховодов П. А. Рентгеноспектральный анализ: отдельный учет физических процессов. – Н. Думка, 1992. – 232 с.
5. Марпл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
6. Атомно-абсорбционный анализ: учебное пособие / А. А. Ганеев и др. – СПб.: Лань, 2011. – 304 с.

### **МЕТАЛЛОГРАФИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Fe-Cr-V-Mo-C**

***Исакин И.А.<sup>1</sup>, Дегтерёв А.С.***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Целью данной работы является исследование элементного состава и строения Fe-Cr-V-Mo-C покрытий, полученных плазменной порошковой наплавкой.

В качестве наплавочного материала в работе использовался промышленный порошок ПР-Х18ФНМ, фракцией от 50 до 200 мкм, следующего химического состава (мас. %) [1]: 2,1...2,4 С, 17...19 Cr, 2...3 Ni, 7...8 V, 2...2,6 Mo, Fe – основа. В качестве основного материала использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ

Покрyтия наносили на установке плазменной порошковой наплавки УПН-303УХЛ4 с водоохлаждаемым плазмoтронoм. Для более высокого уровня защиты создаваемого упрочняющего слоя от влияния атмосферного воздуха на плазмoтрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. В качестве плазмoобразующего, транспортирующего и защитного газов применяли аргон высшего сорта. Покрyтия наплавляли за один проход со скоростями 4,5..8 м/ч, токами 160...250 А прямой и обратной полярностей при расстоянии от плазмoтрона до изделия 10...12 мм, напряжении на дуге 32...45 В, расходе плазмoобразующего 1...2, транспортирующего 10...16 и защитного до 10...15 л/мин газов. Наплавку с поперечными колебаниями плазмoтрона частотой 0,3 Гц выполняли со скоростью 4,5 м/ч, размах колебаний составлял 9 и 15 мм.

Микроструктуру наплавленных покрyтий исследовали на «поперечных» шлифах с помощью оптического микроскопа OlympusGX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700 и растрового электронного микроскопа при увеличениях до 1000 и до 32200 крат соответственно. Частицы карбида ванадия, выявляемые рельефным полированием по методике [2], исследовали с применением методов дифференциального интерференционного контраста и темнопольного освещения. Для анализа эвтектических карбидов использовали травитель следующего химического состава: 8,3 %  $K_3[Fe(CN)_6]$ , 8,3 % KOH, 83,4 %  $H_2O$ . Травление осуществляли при температуре 20 °С методом погружения образцов, время травления 60 с. С помощью анализатора изображений оценивали объемные доли частиц упрочняющих фаз, их средние диаметры, и число частиц, приходящихся на единицу площади шлифа ( $10^4$  мкм<sup>2</sup>). Для исследования интегрального элементного состава поверхностей покрyтий и элементного состава отдельных фаз применяли микрорентгеноспектральный анализ.

На основании анализа микроструктуры полученных упрочняющих слоев их можно характеризовать, как композиционные (рис. 1, а). Матрица в упрочненном слое представлена  $\alpha$ - и  $\gamma$ -твердыми растворами. В карбидной подсистеме присутствуют как частицы карбида VC,  $V_2C$ , имеющие равноосную, округлую или ограниченную формы, а также вытянутую форму, так и эвтектический карбид, расположенный по границам зерен. Еще на этапе производства порошка ванадий как более сильный карбидообразующий элемент, в первую очередь образует собственные карбиды средним диаметром менее 1 мкм. Большая часть углерода сплава находится в этих карбидах, так как 1 % ванадия связывает до 0,236 % углерода [3]. По литературным

данным [1] при плазменной порошковой наплавке средняя температура ванны расплава не поднимается выше 1500°C. Температура плавления карбида ванадия может достигать 2830°C. Значит, тугоплавкие соединения ванадия в ходе наплавки слабо растворяются в жидкометаллической ванне, и являются готовыми центрами кристаллизации, способствуя измельчению зерна. Увеличение их среднего диаметра от 1,2 до 1,9 мкм, уменьшение числа от 850 до 200 на единицу площади шлифа ( $10^4$  мкм<sup>2</sup>) и изменение формы от равноосной к вытянутой с увеличением силы тока и уменьшением скорости наплавки связаны с процессами коагуляции и насыщением другими легирующими элементами. По данным рентгеноструктурного анализа в сплаве также присутствует карбид  $\text{Me}_7\text{C}_3$ .

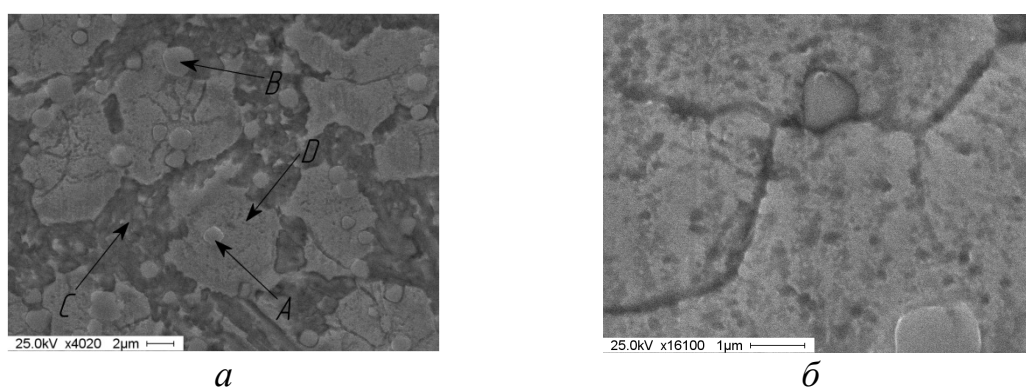


Рис.1. Микростроение покрытия, наплавленного током обратной полярности в 190  
 А: А-карбид ванадия в матрице; В-карбид ванадия в эвтектике; С-эвтектика; D-матрица

Исследование микроструктуры покрытий, протравленных в течение 2...8 секунд раствором хлорного железа, азотной кислоты и воды, с помощью растрового электронного микроскопа позволило выявить в их матрице высокодисперсные темные точки (предположительно поры) диаметром от 400 до 50 нм и менее (рис. 1, б). С увеличением тока формирования упрочняющего слоя уменьшается необходимое для их выявления время травления и их количество, а средний диаметр увеличивается, что облегчает их идентификацию.

В работе [4] были проведены испытания покрытий на абразивный износ и установлено изменение скорости изнашивания в зависимости от режима плазменной наплавки и структуры покрытий в диапазоне от 0,96 до 1,45 мг/мин. Для более полного объяснения причин различной скорости изнашивания наплавов провели их элементный анализ.

Микрорентгеноспектральный анализ поверхности покрытия, характеризуемого низкой скоростью изнашивания, позволил получить

следующие данные. Поверхность, в дальнейшем подвергаемая износу, содержит (%): 3,8...5,4 Mo, 8,8...9,8 V, 18,3...18,8 Cr, 62,9...64,6 Fe, 3,7...4 Ni. Ее интегральный элементный состав хорошо согласуется с заявленным составом порошка ПР-Х18ФНМ. Эвтектика в исследуемом покрытии включает (%) ~ 4,3 Mo, 7,0 V, 21,5 Cr, 64,1 Fe, 3,2 Ni, матрица - 2,4 Mo, 4,6 V, 15,2 Cr, 74,3 Fe, 3,5 Ni. Равноосные высокотвердые частицы, расположенные как внутри эвтектики, так и внутри зерен матрицы имеют близкий элементный состав (%): 3,8...4,4 Mo, 51,7...55,4 V, 12,5...14,7 Cr, 23,6...30,7 Fe, 1,3...1,9 Ni.

Поверхность покрытия, показавшего максимальную скорость изнашивания, характеризуется пониженной в среднем на 20...25 % в сравнении с рассматриваемым ранее покрытием интегральной долей элементов (%): 3,5...4,1 Mo, 6,1...6,8 V, 13,3...15,3 Cr, 71,5...74,1 Fe, 2,5...2,9 Ni. Эвтектика здесь имеет близкое предыдущему образцу распределение элементов, а состав матрицы несколько отличается (~2,8 Mo, 7,6 V, 12,4 Cr, 74,3 Fe, 2,9 Ni). Понижение концентрации легирующих элементов в покрытии может быть вызвано разбавлением наплавленного металла металлом упрочняемой пластины, вследствие ее подплавления, и выгоранием легирующих элементов. Для оценки интенсивности процесса выгорания легирующих элементов, полученные данные о химическом составе образцов сопоставили с рассчитанным по методике [5] прогнозируемым составом покрытий, учитывающем долю участия основного металла в наплавленном.

Элементный анализ поверхностей износа покрытий, наплавленных током обратной полярности, показал отсутствие заметного снижения концентрации легирующих элементов. В исследованных упрочняющих слоях, сформированных током прямой полярности содержание Mo, V, Cr и Ni снижается. Причем при наплавке током прямой полярности в 250 А выгорание легирующих элементов заметно увеличивается и может достигать 10...15 %.

### **Выводы**

1. Исследуемые покрытия имеют композиционное строение: матрица на основе  $\alpha$  и  $\gamma$ - твердых растворов, содержит высокотвердые карбиды ванадия и эвтектический карбид  $Me_7C_3$ .

2. Малое выгорание легирующих элементов обеспечивает наплавка токами прямой и обратной полярностей до 220 А включительно.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ № 8.3664.2011.*

### **Список информационных источников**

1. Гладкий П. В. и др. Плазменная наплавка – Киев: Екотехнология, 2007, 292 с.
2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
3. Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А., Васильев В.Г., Хайнце Х. Структура и свойства высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов на железной основе для наплавки // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2003. – № 5. – С. 37–40.
4. Дегтерёв А.С., Кирилкин М.С., Исакин И.А., Гнусов С.Ф. Тэнс покрытия на основе системы Fe-Cr-V-Mo-C // Вестник науки сибиря. – 2012. – № 4 (5). – С. 118–123.
5. Николаев Г.А., и др. Сварка в машиностроении: Справочник в 4 тома – М: Машиностроение, 1978. – Т. 1 – 504 с.

## **КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКУЮ ЯЧЕЙКУ**

*Кагиров А.Г.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

В настоящее время значительно возрос интерес к миниатюрным кондуктометрическим датчикам и сенсoram для контроля электропроводности. Миниатюрные кондуктометрические датчики используются в медицине для выявления патологии работы различных органов, в проточно-инжекционном химическом анализе, для кондуктометрического детектирования в ионной жидкостной хроматографии, а также в тех случаях, когда измерение электропроводности необходимо проводить в малых объемах исследуемых веществ [1]. Применение миниатюрных датчиков электропроводности особенно актуально для кондуктометрического контроля тканей и жидкостей непосредственно в теле человека.

Основной проблемой при улучшении метрологических характеристик миниатюрных кондуктометрических датчиков является изменение состояния поверхности электродов в процессе эксплуатации, что приводит к изменению емкости двойного электрического слоя. По мнению большинства специалистов [2–4], актуальной задачей при

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Романенко С.В., д.х.н., зав. кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ

создании проборов для кондуктометрического контроля является разработка измерительных схем инвариантных к изменениям неинформативных параметров, прежде всего емкости двойного электрического слоя.

Обзор литературных источников позволил систематизировать ныне существующие способы повышения стабильности и точности кондуктометрических измерений для контроля ионной проводимости растворов. На рис. 1 изображена обобщенная схема классификации способов, которые используются для снижения погрешностей контактного кондуктометрического метода анализа.

Поляризационные погрешности можно уменьшить до заданного уровня, определяемого конкретной задачей, если при выборе конструкции ячейки, способа её калибровки и схемы измерения руководствоваться соображениями, вытекающими из рассмотрения контактной кондуктометрической ячейки как электрохимической цепи переменного тока.

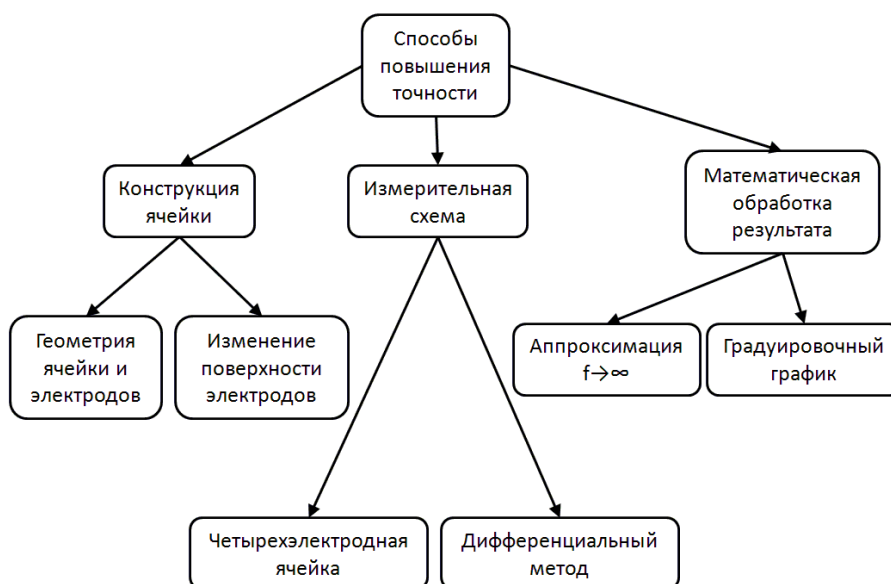


Рис. 1. Способы повышения точности кондуктометрических измерений

Анализ эквивалентных схем замещения контактных кондуктометрических ячеек позволил сделать вывод о том, что все схемы замещения имеют общее свойство: эквивалентное активное сопротивление раствора последовательно соединяется с эквивалентной емкостью двойного электрического слоя, а различия моделей состоят лишь в элементах подключенных параллельно емкости двойного электрического слоя.

Обобщенная эквивалентная схема замещения кондуктометрического датчика изображена на рис. 2 и содержит



активное сопротивление раствора ( $R$ ), емкость двойного электрического слоя ( $C$ ), емкость ячейки как макроконденсатора ( $C_m$ ), а также поляризационное сопротивление ( $r$ ).

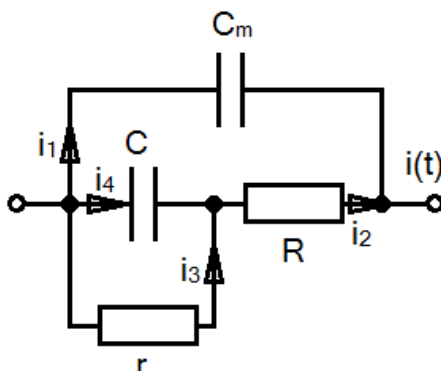


Рис. 2. Эквивалентная схема замещения контактного кондуктометрического датчика

Применение сигнала с большим набором частот и измерение суммарного отклика электрохимической системы дает определенные преимущества при измерении электропроводности контактными кондуктометрическими датчиками, поскольку емкость двойного электрического слоя имеет частотную дисперсию.

Для исследования отклика тока  $i(t)$  кондуктометрического датчика на возмущающее напряжение  $U(t)$  была разработана математическая модель, представляющая собой решение системы уравнений:

$$\begin{aligned} i(t) &= i_1 + i_2; \\ i_2 &= i_3 + i_4; \\ i_1 &= C_m \frac{dU(t)}{dt}; \\ U(t) &= i_3 r + i_2 R; \\ i_4 &= rC \frac{di_3}{dt}; \end{aligned}$$

Эта система заметно упрощается при треугольной форме возбуждающего импульса  $U(t)$ . Разработанная математическая модель позволила сделать ряд выводов: во-первых, точность измерения удельной электропроводности контактными датчиками не зависит от площади электродов, во-вторых, минимальное значение удельной электропроводности при заданном времени импульса определяется лишь точностью измерения  $i$ , в-третьих, расширить диапазон можно увеличив расстояние между электродами и удельную емкость двойного электрического слоя.

Для проведения экспериментальной проверки разработанной математической модели была собрана установка, устройство и принцип работы которой подробно описан в [5].

В работе показана возможность измерения удельной электропроводности растворов с использованием кондуктометрических датчиков малого размера. Принцип измерения, основанный на использовании источника тока с быстроизменяющимся значением (функционально имеющим разрыв), позволяет проводить измерения удельной электропроводности без учета влияния поляризации электродов двухэлектродными датчиками, поскольку емкость двойного электрического слоя при таком способе измерения не оказывает влияния на результат измерения активной составляющей полного электрохимического импеданса.

Измерительная схема обеспечивает точное измерение удельной электропроводности не только в случае идеально поляризуемого электрода, но и в тех случаях, когда перенос ионов заряженных частиц к поверхности электрода лимитируется процессом диффузии (модель Рэндлса) или при адсорбции заряженных частиц на поверхности электрода (модель адсорбции). Повышение точности измерения объясняется тем, что при значительной скорости нарастания напряжения (несколько десятков вольт в микросекунду) падение напряжения на конденсаторе много меньше падения напряжения на активном сопротивлении раствора. Следовательно, повышается точность измерения удельной электропроводности миниатюрными кондуктометрическими датчиками, когда измерение проводится в пробе малого объема.

Описанный в работе принцип измерения электропроводности при использовании источника тока позволил свести к минимуму погрешности измерения, вызванные явлением, из-за которого не удавалось получить высокую стабильность и чувствительность измерений электропроводности при использовании миниатюрных кондуктометрических датчиков и сенсоров, — явление поляризации на границе раздела фаз с ионной и электронной проводимостью.

#### **Список информационных источников**

1. Macdonald J. R. Impedance/admittance response of a binary electrolyte // *Electrochem. acta.* – 1992. – Т. 37, № 6. – Р. 1007–1014.
2. Мельник В.Г., Рубанчук М.П., Михаль А.А. Измерительные цепи для кондуктометрических преобразователей с дифференциальными двухэлектродными датчиками // *Технічна електродінаміка.* – 2008. – №2. – С. 58-64.

3. Дубровский И.А. Модель импеданса кардиального электрода // Медицинская техника. – 2010. – № 4. – С. 21-25.
4. Melnyk V.G., Dzyadevych S.V., Ivashchuk A.V., Ulyanova V.A., Lepikh Y.I., Romanov V.O. The experimental studies of microelectronic transducers for conductometric biosensor systems // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. 2011. T. 2. № 3. P. 81-90.
5. Кагиров А.Г. , Романенко С. В. Измерение активной составляющей электрохимического импеданса растворов с использованием миниатюрной двухэлектродной кондуктометрической ячейки // Вестник науки Сибири. Серия: Инженерные науки. – 2012 – Т.4 – №.3 – С. 68-74.

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ МИКРОТОМОГРАФОВ**

***Казтаев А. Ж., Глушков Г.С., Лунев С. О.<sup>1</sup>***

*Томский государственный университет, г. Томск*

Неразрушающий контроль применяется в тех областях, где метрологическое обеспечение является законодательно обязательным, где имеет большое значение обеспечение единства и достоверности измерений с применением средств неразрушающего контроля, позволяющее получить при проведении контроля количественную информацию о параметрах или характеристиках объекта, прямо или косвенно влияющих на качество контроля. При этом технические средства, применяемые в неразрушающем контроле, позволяют дефектоскописту определиться с выбором того или иного своего решения (выявление дефекта, его развитие, выбор метода устранения дефекта и т.д.) при проведении контроля и диагностики. Наиболее важным требованием к таким техническим средствам является предоставление дефектоскописту объективной, достоверной и точной информации об интересующих параметрах или характеристиках диагностируемого объекта. Получение недостоверных сведений может привести к авариям и катастрофам.

---

<sup>1</sup> Научный руководитель: Сырямкин В.И., д.т.н., профессор, директор УНПЦ «Технологический менеджмент» ТГУ

## Поверяемые параметры РМТ

Рентгеновский микротомограф представляет собой совокупность взаимодействующих узлов, параметры которых могут отличаться от параметров конечного продукта в сборе. Основные параметры узлов микротомографа, подлежащие поверке, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры рентгеновского микротомографа

Параметр	Метод измерения / стандарт
Потребляемая мощность электропитания	ГОСТ Р МЭК 61223-2-11-2001,
Диапазон восстановления значения поглощения по шкале Хаунсфилда	ГОСТ Р МЭК 61223-2-11-2001,
Диапазон зондирующего излучения: – монохроматическое – тормозное	ГОСТ Р МЭК 61223-2-11-2001,
Максимальное выходное напряжение трубки	ГОСТ 22091.4-86 «Приборы
Максимальный выходной ток	ГОСТ 22091.1-84
Максимальная выходная мощность	ГОСТ Р МЭК 61223-2-11-2001,
Выходное напряжение	ГОСТ 22091.4-86
Точность установки выходного напряжения	ГОСТ 22091.4-86
Стабильность выходного напряжения	ГОСТ 22091.4-86
Выходной ток	ГОСТ 22091.1-84
Точность установки тока	ГОСТ 22091.1-84
Стабильность тока	ГОСТ 22091.1-84
Мощность потребления	ГОСТ Р МЭК 61223-2-11-2001,
Максимальный ток потребления	ГОСТ 22091.1-84
Рабочий диапазон длин волн	ГОСТ Р МЭК 61223-2-11-2001,
Количество степеней свободы - не менее 2-х. Точность позиционирования	ГОСТ 27843-2006
Защита от рентгеновского излучения в любой точке внешней поверхности корпуса.	ГОСТ 22091.6-84 рентгеновские.

## Нормативная и законодательная база

Развитие и повышение уровня надежности средств неразрушающего контроля невозможно без создания высокоразвитой нормативной базы. Нормативная база должна быть взаимосвязана с законодательной и правовой базой [1].

Анализ зарубежного (в первую очередь, стран ЕС) опыта в области неразрушающего контроля показывает, что нормативное обеспечение этой сферы деятельности охватывает полный «жизненный цикл» средства неразрушающего контроля: стадию разработки, производства, размещения на рынке, обслуживания в процессе эксплуатации изделия и гарантирует соблюдение всех требуемых характеристик, обуславливающих функциональное назначение изделия.

К сожалению, на сегодняшний день нормативно-техническая база метрологического обеспечения в России в области неразрушающего контроля недостаточно полна и рассредоточена по различным областям промышленности в виде инструкций, предписаний и других регламентирующих документов. Методики поверки в виде ГОСТов имеются только: на ультразвуковые дефектоскопы (ГОСТ 23667-85), ультразвуковые толщиномеры (ГОСТ 8.495-83), электромагнитные дефектоскопы (ГОСТ 8.273-78), радиационные толщиномеры (ГОСТ 8.112-74), структуроскопы (ГОСТ 8.518-84), рентгенорадиометрические дефектоскопы (ГОСТ 8.452-82). Кроме того, все больше находят применение такие приборы, как феррозондовые, акусто-эмиссионные, приборы для оптических методов контроля и т.д., на которые не существовало методик поверки в ранге государственных стандартов Российской Федерации [1]. Также существуют ГОСТы (ГОСТ 29025-91, ГОСТ 25113-86 и др.) на рентгеновские СНК, которые не распространяются на дефектоскопы с устройствами цифровой обработки изображения. Из сказанного можно сделать вывод о необходимости разработать и подготовить к рассмотрению в Госстандарт проект ГОСТа.

#### **Список информационных источников**

1. Ключев С.В., Коновалов Н.Н., Копытов С.Г., Соловьева М.О. Аттестация персонала в области неразрушающего контроля М: Спектр, 2011. – 200 с.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ**

***Кафтасьев С.М., Костромин А.К.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Техническая диагностика играет важную роль при разработке и эксплуатации скважиной аппаратуры различного назначения. Важной задачей при разработке любого скважинного прибора является обеспечение его нормального теплового режима. На кафедре точного приборостроения ведутся работы по разработке систем термостатирования отдельных узлов скважинного прибора. В частности, решается задача термостатирования узла чувствительных элементов гироскопического инклинометра на уровне плюс 75<sup>0</sup>С с

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения ИНК ТПУ

допустимым отклонением  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . В то время как температура окружающей среды может изменяться от минус  $40^{\circ}\text{C}$  до плюс  $120^{\circ}\text{C}$ . В состав такой системы входят: нагреватель, охладитель на основе полупроводниковых элементов Пельтье и электронная схема управления. Схема управления построена с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). За один такт ШИМа они включаются по очереди, и в любой момент времени включённым в работу на полную мощность будет либо нагреватель, либо охладитель. А управление средней мощностью исполнительного органа за период шиммирования осуществляется за счёт изменения интервалов времени работы охладителя и нагревателя. Тепло с горячей стороны охладителя передаётся с помощью тепловых труб на охранный кожух скважинного прибора, в месте, удалённом от чувствительных элементов на значительное расстояние.

При разработке такой системы, важное значение имеет её экспериментальные исследования. С этой целью разработана экспериментальная установка, основной составной частью которой является имитатор скважины. Установка должна имитировать условия пребывания скважинного прибора, оснащённого активной системой термостатирования, в скважине, заполненной жидкостью и при этом обеспечивать поддержание заданной температуры жидкости в диапазоне от  $20$  до  $150^{\circ}\text{C}$ . Стабильность поддержания температуры, не хуже  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Время нагрева жидкости от  $20$  до  $150^{\circ}\text{C}$ , не более  $60$  мин. Основное рабочее положение контейнера – вертикальное. Для удобства установки скважинного прибора инклинометра в контейнер – имитатор скважины и выемки его оттуда предусмотреть возможность наклонения контейнера на угол, не менее  $80$  градусов. Имитатор скважины выполнен в виде контейнера цилиндрической формы, в нижней части которого установлены 3 тена мощностью по  $3\text{кВт}$  и термодатчик. Для регулирования температуры применён измеритель-регулятор типа ТРМ1-Щ2.У.Р. Контейнер-имитатор соединён со стандартным термостатом типа ТС-16А с помощью 2 патрубков. Применение внешнего термостата позволяет выравнивать температуру в имитаторе по всему объёму жидкости, а также увеличить общую мощность нагревателей. Включение/отключение нагревательных элементов (тенов) осуществляется с помощью твердотельного электронного реле типа 36.30 ТМА 1-20-80. Нагревательные тены подключены к трёхфазной сети  $380/220\text{В}$  по схеме звезда. На пульт выведена индикация о присутствии трёхфазного напряжения сети, а так же о протекании тока по нагревательным элементам. Управление температурой жидкости может осуществляться как от резистивного

термодатчика, установленного в имитаторе, так и от контактного ртутного термометра термостата. Переключение осуществляется соответствующим тумблером на пульте.

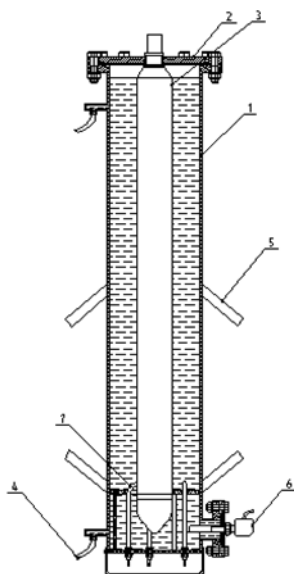


Рис. 1. Имитатора скважины со скважинным прибором: 1 – контейнер; 2 – крышка контейнера; 3 – скважинный прибор; 4 – соединительные шланги; 5 – элементы крепления имитатора на наклонном стенде; 6 – датчик температуры; 7 – нагревательные тэны.

Разработанная установка позволяет:

- определять погрешность термостатирования при температурах окружающей среды, изменяющейся в диапазоне от 20 до 150<sup>0</sup>С;
- определять характер переходного процесса в системе термостатирования и время выхода системы на рабочий режим при различных начальных значениях температур окружающей среды (в диапазоне от 20 до 150<sup>0</sup>С);
- исследовать влияние наклона скважины на работу системы термостатирования.

#### **Список информационных источников**

1. Белянин Л.Н., Мартеньянов В.М. Термостатирование чувствительных элементов скважинных приборов. Российская научно-техническая конференция «Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения», г.Томск, 28-29 сентября 2004 года. Сборник трудов. – Томск: Издательство ТПУ, 2004, с.59-62.
2. Пакулько С.Ю. Система термостатирования узла чувствительных элементов скважинных приборов. XV международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых

учёных «Современные техника и технологии», г.Томск, 2009 года. Сборник трудов. – Томск: издательство ТПУ, 2009, с.205-206.

3. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Учебник для вузов по спец. «Конструир. И произв. радиоаппаратуры». – М.: Высш. шк., -247с., ил.

## **АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ FE-CR-V-MO-C ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИХ ИЗНАШИВАНИЯ АБРАЗИВОМ**

***Кирилкин М.С.<sup>1</sup>, Дегтерёв А.С.***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Целью данной работы является исследование механизма изнашивания покрытий, полученных плазменной наплавкой порошка ПР-Х18ФНМ, нежестко закрепленным абразивом.

В качестве наплавочного материала в работе использовался промышленный порошок ПР-Х18ФНМ, фракцией от 50 до 200 мкм, следующего химического состава (мас. %) [1]: 2,1...2,4 С, 17...19 Cr, 2...3 Ni, 7...8 V, 2...2,6 Мо, Fe – основа. В качестве основного материала использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм.

Покрyтия наносили на установке плазменной порошковой наплавки УПН-303УХЛ4 с водоохлаждаемым плазмотроном. Для более высокого уровня защиты создаваемого упрочняющего слоя от влияния атмосферного воздуха на плазмотрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применяли аргон высшего сорта. Покрyтия наплавляли за один проход со скоростями 4,5..8 м/ч, токами 160...250 А прямой и обратной полярностей при расстоянии от плазмотрона до изделия 10...12 мм, напряжении на дуге 32...45 В, расходе плазмообразующего 1...2, транспортирующего 10...16 и защитного до 10...15 л/мин газов. Наплавку с поперечными колебаниями плазмотрона частотой 0,3 Гц выполняли со скоростью 4,5 м/ч, размах колебаний составлял 9 и 15 мм.

Испытания на износ при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы проводили по ГОСТ 23.208-79 в течение 160...200 мин, с определением потери массы путем взвешивания образцов

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ



каждые 15 мин. В качестве абразивного материала использовался электрокорунд фракцией менее 400 мкм с явной огранкой. Профиль поверхности износа изучали с помощью анализатора поверхности NewView 7300 и растрового электронного микроскопа.

Исследуемые в работе наплавленные валики имеют композиционное строение. Матрица в данном композите согласно РСА представлена  $\alpha$ - и  $\gamma$ - твердыми растворами. В покрытиях сформированных токами 220...250 А в матрице присутствует 80...95 %, а токами 160..190 А – 65...83 %  $\gamma$ -фазы. В карбидной подсистеме присутствуют частицы карбида VC, V<sub>2</sub>C, имеющие равноосную, округлую или ограниченную формы, а также вытянутую форму, и эвтектический карбид M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, выделившийся по границам зерен.

В работе [2] было выявлено, что с увеличением силы тока и уменьшением скорости наплавки (увеличением погонной энергии) скорость изнашивания, определяемая, как отношение потери массы Fe-Cr-V-Mo-C покрытий к времени испытания, увеличивается от 0,96 до 1,45 мг/мин.

Анализ профилограмм поверхностей износа испытанных образцов показал, что результатом взаимодействия нежестко закрепленных абразивных частиц с поверхностным слоем покрытия, являются непрерывные тонкие царапины (рис. 1, а, б), при этом выкрашивания макрообъемов материала не наблюдается. А значит, микрорезание является преобладающим механизмом изнашивания Fe-Cr-V-Mo-C естественных композитов. По профилограммам поверхностей покрытий также можно судить об интенсивности изнашивания. С увеличением тока наплавки как прямой, так и обратной полярностей от 160 до 220 А расстояние между средней линией профиля поверхности трения и линией выступов увеличивается, шероховатость поверхности возрастает от  $Ra_{0,36}^{0,72}$  до  $Ra_{0,53}^{0,93}$ . В исследуемых образцах наибольшая высота профиля принимает значения  $Rmax_{3,37}^{5,23}$ .

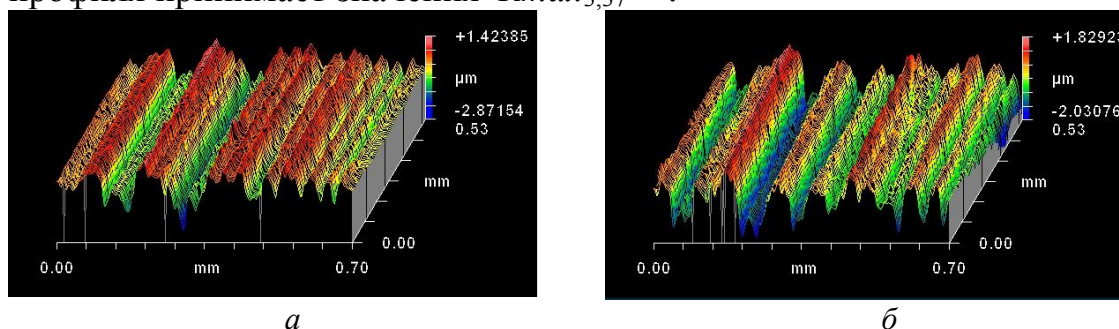


Рис.1. Профилограммы изношенных поверхностей покрытий наплавленных током 160 А (а) и 220 А (б)

Анализ поверхностей износа Fe-Cr-V-Mo-C композита с помощью растрового электронного микроскопа позволил более полно раскрыть механизм их разрушения. Идентифицирующиеся на поверхности трения (рис. 2) мелкодисперсные частицы по форме и размерам соответствуют высокотвердым частицам карбида ванадия. Они, являясь препятствиями на пути движения абразивных частиц, снижают интенсивность микрорезанья, сдерживая их проникновение в глубину материала, но вследствие своих малых размеров (менее 2 мкм) часто не могут полностью его подавить, срезаясь вместе с матрицей (максимальная глубина проникновения абразива может достигать 5,23 мкм), либо постепенно выкрашиваясь из нее. Более темные точки на поверхности трения – вырванные из матрицы частицы VC, более светлые – вступившие в процесс изнашивания высокотвердые карбиды.

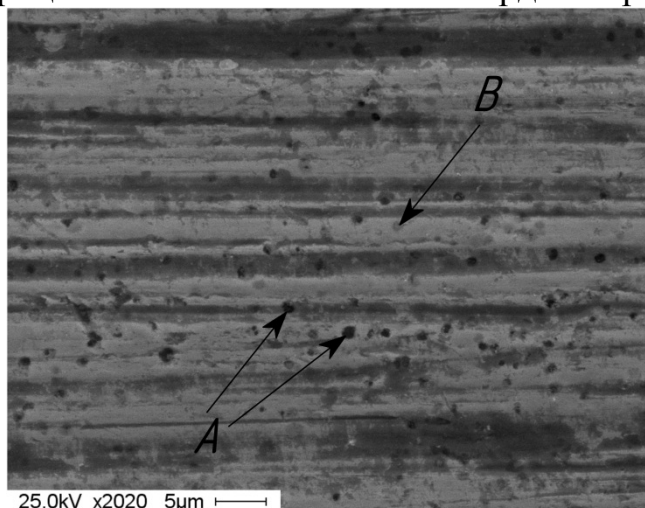


Рис. 2. Поверхность трения: А-след от выкрашенной частицы карбида ванадия, В-карбид ванадия

Результаты исследования характера разрушения высокованадиевого сплава нежестко закрепленным абразивом хорошо согласуются с результатами исследований поверхностей трения при их износе закрепленным абразивом, где также зафиксировано постепенное выкрашивание высокотвердого дисперсного карбида VC [3].

### Выводы

1. Микрорезанье является основным механизмом изнашивания Fe-Cr-V-Mo-C композиционных покрытий нежестко закрепленным абразивом.

2. В ходе износа абразивные частицы постепенно срезают матрицу и эвтектический карбид. Высокотвердые дисперсные частицы карбида ванадия либо срезаются с другими структурными составляющими, либо выкрашиваются по мере изнашивания матрицы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ № 8.3664.2011.*

#### **Список информационных источников**

1. Гладкий П. В. и др. Плазменная наплавка – Киев: Екотехнология, 2007, 292 с.
2. Дегтерёв А.С., Кирилкин М.С., Исакин И.А., Гнусов С.Ф. Тзнос покрытий на основе системы Fe-Cr-V-Mo-C // Вестник науки сибиря. – 2012. – № 4 (5). – С. 118–123.
3. Shizhong Wei, Jinhua Zhu, Leijue Xu Research on wear resistance of high speed steel with high vanadium content // Materials Science and Engineering. – 2005. – V. 404. – P. 138–145.

### **ОБЗОР МЕТОДОВ ДОСТИЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

***Клюшников И.Ю.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Одним из вредных факторов, влияющих на здоровье человека в быту и на производстве, являются шумы. При этом шумом считают не несущий полезной информации или случайный звук, мешающий окружающим либо причиняющий им значительные неудобства. Для характеристики уровня шума принята логарифмическая шкала величин. Логарифмическую единицу интенсивности звука – децибел (дБ). Децибел - величина относительная: за 0 дБ принято значение 10-12 Вт/м<sup>2</sup>. Это порог слышимости человеческого уха. Предельный же уровень интенсивности шума, вызывающий болевые ощущения, равен 130 дБ, или 10 Вт/м<sup>2</sup>. Другая характеристика шума - частота звука, измеряемая в герцах (Гц). Ухо человека воспринимает звуки в диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц.

Люди постоянно подвергаются воздействию вредного для здоровья шума. Задолго до наступления тугоухости у человека нарушается работа вегетативной нервной и сердечно-сосудистой систем, обменные процессы, у мужчин снижается потенция. Даже обычный шум транспорта, проникающий в квартиру из окна, приводит к нарушениям сна и, как следствие, к развитию неврозов. Поэтому с городским и производственным шумом можно и нужно бороться.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Гусельников М.Э., к.т.н., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ

В развитых странах к проблеме снижения шума в городах подходят куда более строго, чем в России: для градостроителей предусмотрены жесткие нормативы уровня шума. Например, в 1981 году в Амстердаме городские власти пошли на трату 7 миллионов гульденов, чтобы снизить шум вдоль одной из магистралей города на 7 дБ. В последние годы и в России (в основном в Москве и Московской области) стали уделять внимание защите от транспортного шума. В качестве примера можно привести шумозащитные экраны третьего транспортного кольца и ряда магистралей федерального значения. Данные факты доказывают актуальность проблемы снижения шумов.

Данная публикация отражает начало работ по разработке методов снижения шумов железнодорожного транспорта. Проведенный литературный обзор показал, что распространяясь от источника шума, звуковые волны либо прямо попадают на слуховой орган человека, либо, например, встречая на своем пути преграду, возбуждают в ней механические колебания. Те в свою очередь снова возбуждают звуковые волны, которые, в конце концов, воздействуют на человеческое ухо. Поэтому защита человека от шума может быть осуществлена следующими основными способами [1]:

1. Звукоизоляцией, путем создания преград на пути распространения шума.
2. Звукопоглощением, предполагающим ослабление звуковых волн по пути распространения.
3. Применением средств индивидуальной защиты.
4. Использованием систем активного снижения шума и вибрации.

Рассмотрим эти методы более подробно. Первым из них является звукоизоляция. в диапазоне средних частот величина звукоизоляции определяется так называемым законом массы: чем тяжелее звукопреграждающая конструкция, тем эффективнее она задерживает звук. Увеличивая плотность преграды в два раза, мы повышаем звукоизоляцию примерно вдвое (то есть уровень шума уменьшается на 6 дБ). При этом шум проникает в щели и зазоры звукопреграждающей конструкции. Так, например, щель шириной всего 2 мм по периметру преграды площадью 4 м<sup>2</sup> повышает уровень шума на 15 дБ, то есть уменьшает звукоизоляцию почти в 5 раз.

Снизить уровень шума в помещении можно с помощью звукопоглощающих материалов, которые уменьшают интенсивность звуковых волн, отраженных от стен, потолка и других поверхностей. В современных зданиях потолок и стены, как правило, облицованы звукопоглощающими покрытиями. Звуковая энергия в них переходит в тепловую за счет трения частиц воздуха в микропорах

звукопоглощающего покрытия. Обычно такие покрытия имеют небольшой вес и не могут быть использованы в качестве звукоизоляционного материала.

Использование звукоизолирующих преград не приводит к уменьшению энергии шума, как в случае звукопоглощающих покрытий. Поэтому для достижения максимального эффекта звукоизолирующие преграды обязательно дополняют звукопоглощающими покрытиями. Именно поэтому звукопоглощающие покрытия широко применяют при строительстве помещений, к которым предъявляются определенные акустические требования.

Следует учитывать, что звук может передаваться не только по воздуху, но и по конструкциям, в которых акустическая энергия распространяется в виде упругих колебаний (вибраций). В большинстве случаев возникновение шума происходит из-за преобразования энергии вибраций в звуковую энергию. Звук исходит от колеблющихся поверхностей машин, механизмов, перегородок и т. д. Очень хорошие источники звука - тонкостенные металлические поверхности, которые эффективно излучают звуковую энергию в окружающую среду в широком диапазоне частот. Энергию таких упругих колебаний можно достаточно эффективно уменьшить с помощью так называемых вибропоглощающих покрытий. Вибропоглощающие покрытия широко применяются в автомобилестроении - для внутренней облицовки кузовов машин, в авиастроении - для нанесения на внутренние части фюзеляжей самолетов и т. д.

Защититься от шума можно и с помощью индивидуальных средств защиты – берушей, наушников и специальных звукоизолирующих шлемов. В числе их недостатков - неудобство и неприятные ощущения, возникающие при длительном ношении.

В конце XX века появились так называемые системы активного снижения шума и вибрации. Их принцип действия основан на явлении интерференции звуковых волн от разных источников с одной частотой, которые накладываясь одна на другую, могут образовывать области повышенного и пониженного уровня звука. Современная технология активного гашения звука представляет собой достаточно сложную систему, которая из приемников звукового сигнала, управляющего процессора и совокупности источников гасящего звукового поля. Используются различные алгоритмы: одни позволяют гасить поле в заданной области, другие уменьшают излучаемую звуковую энергию в целом. Такие системы применяются для создания активной звукоизоляции, виброизоляции, а также высокоэффективных индивидуальных средств защиты от шума.

Анализ известных методов снижения шума с целью их использования для нужд железнодорожного транспорта на городских территориях показал, что использование звукоизоляции затруднено большой материалоемкостью шумозащитных мероприятий, использование средств индивидуальной защиты населением прилегающих к железной дороге территорий проблематично, а активные методы снижения шумов от протяженного объекта достаточно дороги. Поэтому дальнейшие работы целесообразно сосредоточить на разработке ограждающих железнодорожное полотно экранов из звукопоглощающих материалов.

#### **Список информационных источников**

1. ГОСТ Р 52797.2-2007 (ИСО 11690-2:1996) Акустика. Рекомендуемые методы проектирования малозумных рабочих мест производственных помещений Часть 2. Меры и средства защиты от шума. –М.: Стандартиформ, 2008.

### **ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА И ПЕРЕИЗОЛЯЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА**

***Ковалев М.К.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Обеспечение надежной и безопасной работы газопроводов и предотвращение их разрушения по причине коррозии достигается за счет реализации комплекса противокоррозионных мероприятий, важнейшим из которых является защита от коррозионно-активной среды при помощи гидроизоляционных покрытий.

На основе анализа опыта длительной эксплуатации подземных газопроводов можно констатировать, что полимерная ленточная изоляция к настоящему времени выработала свой ресурс, что приводит к массовому развитию коррозионных повреждений.

В настоящее время интенсивными темпами ведется масштабный ремонт протяженных участков, изолированных ленточными покрытиями, путем их замены покрытиями на основе битума. Вполне очевидно, что конструкция и материал новых покрытий являются более совершенными, чем традиционные ранее применяемые битумно-резиновые покрытия, армированные стеклохолстом.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Калиниченко А.Н., к.т.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

Вместе с тем, любой, даже самый современный, полимерный материал изоляции под влиянием специфических условий нахождения в грунтовой среде стареет и изменяет свои защитные свойства. В связи с этим, большое значение имеет качественное диагностирование дефектов различными методами неразрушающего контроля при капитальном ремонте и переизоляции магистрального газопровода.

Предварительным этапом диагностирования является анализ данных, полученных в ходе внутритрубной дефектоскопии (ВТД) ремонтируемого участка магистрального газопровода. Основными целями проведения ВТД являются: планирование ремонта трубопроводов и принятие решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации трубопроводов.

Первым этапом обследования является проведение визуального и измерительного контроля трубопровода. На данном этапе выявляют коррозионные дефекты, вмятины, гофры, смещение кромок и наружные дефекты сварных швов, а также другие видимые дефекты, особое внимание уделяется местам, отбракованным по результатам ВТД, в результате определяют элементы подлежащие ремонту и замене.

На следующем этапе выполняется приборное обследование участков газопровода, которые не были отбракованы по результатам визуального контроля. «Инструкцией по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов», утвержденной ОАО «Газпром» в 2008 году (без номера), предусматривается технология диагностирования труб и их соединительных деталей преимущественно с использованием сканеров-дефектоскопов.

В настоящее время наиболее часто применяются следующие сканеры-дефектоскопы для неразрушающего контроля трубопроводов:

- автоматические магнитные бесконтактные сканеры ДНС 1000 - 1400 разработки ЗАО «Газприборавтоматикасервис», их применение связано с намагничиванием тела трубы и выявлением полей рассеяния магнитного поля над дефектами;

- ультразвуковые контактные сканеры АВТОКОН-МГТУ (разработки МГТУ им. Н.Э.Баумана). Они требуют специальной подготовки поверхности в зоне хода акустических блоков и применения контактных жидкостей между преобразователями и трубой.

Однако допускается и проведение обследования без применения сканеров-дефектоскопов. Широкое применение нашла автоматизированная ультразвуковая установка СКАРУЧ (разработки ООО МНТП «Алтес»).

Также используются различные ультразвуковые приборы для ручного контроля, рентгеновские аппараты, комплекты для магнитопорошкового контроля и множество другого оборудования.

Заключительным этапом диагностирования является отбраковка элементов трубопровода по результатам приборного контроля, подготовка заключений и исполнительной документации.

Основываясь на практическом опыте диагностирования при переизоляции магистрального трубопровода, возможно, выделить ряд моментов вызывающих сложности в работе и требующих дальнейшей разработки.

Во-первых, существует необходимость совершенствования методов внутритрубной диагностики, поскольку полученные данные за разные годы обследований имеют значительные расхождения между собой и с фактическим состоянием трубопровода.

Во-вторых, диагностика при капитальном ремонте и переизоляции труб проводится зачастую в суровых климатических условиях, при наличии на поверхности трубы следов от старой изоляции и затрудненном доступе к трубе. Соответственно, качество проведения визуального и ручного приборного контроля значительно сокращается, а на отдельных участках становиться просто невозможным. Устранение данной проблемы возможно только увеличением доли автоматического контроля, требующего минимального участия человека, поскольку создание лучших условий для работы оператора на объекте практически невозможно.

В-третьих, так как скорость диагностирования должна соответствовать скорости движения механизированной колонны, осуществляющей ремонт газопровода, что составляет до 800 метров за смену, то оборудование часто выходит из строя. Таким образом, необходимо повышать время наработки на отказ и время непрерывной работы оборудования используемого при неразрушающем контроле.

В-четвертых, время подготовки отчетной документации может в несколько раз превышать время проведения самого контроля. При этом вводимые данные зачастую представляют собой, повторяющиеся по много раз значения. Кроме того, множество работ выполняется по документам, которые были разработаны более 40 лет назад и в настоящее время устаревают. Соответственно, необходима переработка и доработка существующей нормативной документации в соответствии с современными условиями.

Основываясь на всем вышеизложенном, можно утверждать, что существующая процедура диагностирования при капитальном ремонте и переизоляции магистрального газопровода далека от совершенства и



разработка новых средств, методов и методик контроля и диагностирования будет всегда оставаться актуальной задачей.

#### **Список информационных источников**

1. Колотовский А.Н. Разработка методов переизоляции протяженных участков магистральных газопроводов. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва – 2009г.
2. Коннов В.В. Опыт применения комплекса диагностических методов и средств при переизоляции газопроводов. [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://www.npcmolniya.ru/razrabotki-kompanii/metodicheskie/show24/>
3. Коннов В.В., Борисов О.И. Эффективность переизоляции магистральных газопроводов [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://www.npcmolniya.ru/razrabotki-kompanii/metodicheskie/show13/>
4. Правила производства работ при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов ОАО «Газпром». СТО Газпром 2-2.3-231-2008. Официальное издание. Москва – 2008г.
5. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. СТО Газпром 2-2.4-083-2006. Официальное издание. Москва – 2006г.

### **МОНИТОРИНГ МИКРОКЛИМАТА В ЦЕЛЯХ ОХРАНЫ И ЗАЩИТЫ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА**

*Коломейцев А.А.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Томск, основанный в 1604 году, является одним из старейших городов Сибири. Вплоть до революции 1917 года дома Томска строились в основном из дерева. На карте города Томска определена историческая территория, площадью 1050 га.<sup>(1)</sup> На этой территории расположено около 1800 деревянных домов. Из них 200 зданий официально отнесены к памятникам деревянного зодчества (18 федерального значения, 98 регионального и 84 "вновь выявленных").<sup>(2)</sup>

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: *Бориков В.Н. к.т.н., заведующий кафедрой кафедры точного приборостроения ИНК ТПУ*

Все эти здания объединяет один строительный материал – дерево, который как продукт органического происхождения, обладает рядом недостатков и подвергается физическому, химическому и биологическому разрушению. Разрушение древесины происходит по многим причинам: разница в температуре (наружного воздуха и воздуха внутри помещения), осадки, ветер, солнце и т.д. Однако самый большой вред деревянному дому причиняют насекомые, грибки, плесень, синева и гниль.

Оптимальная температура воздуха в жилых помещениях для человека должна быть выше +18°C. В холодный период года оптимальная влажность 30–45%, в теплый период года оптимальная влажность 30–60%.

Для древесины оптимальная температура – +(18..22)°C (уменьшается риск возникновения синевы), и влажность 30-45% (уменьшается риск возникновения синевы и плесени одновременно). При влажности немного больше 30% может появиться только синева, но при такой влажности риск ее появления очень мал (намного интенсивнее она будет проявляться при влажности 60-80%). Более того, температура 18-22°C, которая оптимальна для человека, неблагоприятна для ее возникновения.<sup>(3)</sup> То есть риск возникновения синевы, а тем более плесени, минимален. А создавая неблагоприятные условия, для синевы и плесени, исключается возможность появления гнили. Здесь следует отметить то, что определяющим параметром для определения оптимального микроклимата является влажность, т.к. именно она провоцирует усиленный рост грибов на древесине. Температура, по сравнению с влажностью, является второстепенным фактором появления синевы и плесени.

Автоматизированные системы мониторинга микроклимата в настоящее время повсеместно внедряются и используются для контроля состояния соответствующих параметров среды в музеях, библиотеках, архивах, картинных галереях в процессе хранения и экспозиции ценностей и эксплуатации памятников.

Предлагается новая концепция системы мониторинга. Данные с датчиков поступают на микроконтроллер с внутренним аналого-цифровым преобразователем и сохраняются на съёмной ММС-карте, порт для которой расположен непосредственно в одном блоке с микроконтроллером. Данные о параметрах микроклимата в течении дня (недели, месяца, года) сохраняются на ММС-карте, которая извлекается и вставляется в персональный компьютер оснащённый кардридером (входит в состав практически всех современных компьютеров). С помощью специализированной программы (например,

T/HDATALogger) показания датчиков анализируются и делаются соответствующие выводы о параметрах микроклимата исследуемого объекта.

Такая система позволяет исключить расходы на организацию сети передачи данных (будь то радиосеть или локальная сеть), позволяет избавиться от огромного количества проводов соединяющих измерительные блоки и ПК, а самое главное не нужно иметь постоянно включенные компьютеры, осуществляющие непрерывный анализ данных. Пользователь анализирует накопившиеся данные в любой удобный для себя момент времени в любом месте, где имеется ПК.

#### **Список использованных источников**

1. Официальный интернет портал томской области [электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tomsk.gov.ru>.
2. Харальд Гарреخت (Harald Garrecht). Erhalt der historischen Holzhäuser in Tomsk / Sibirien, TUD.2009.
3. Симон Риб (Simone Reeb), Харальд Гарреخت (Harald Garrecht), Елена Александракис (Elena Alexandrakis). Analysis of climate stress on the Ottonian wall paintings of St. George – Ile Reichenau. Darmstadt Concrete.2011. С.77-78.

### **К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОТЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН**

***Кондратенко Е.В., Нармухан И.М.<sup>1</sup>***

*Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск*

Основной элемент цистерны - котел, который обеспечивает сохранность груза и безопасность движения. Наиболее потенциально опасными дефектами в котлах являются сквозные трещины. Они локализируются в районе опорных подушек, на фасонных лапах, по контуру сварного шва и желобкам универсального сливного прибора. Своевременное обнаружение данных дефектов и их устранение позволяет поддержать достаточный уровень надежности цистерн.

Проблема обнаружения сквозных трещин котла до сих пор является нерешенной. Применяют газовые и гидравлические группы

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Ахмеджанов Р.А., к.т.н. профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»

контроля герметичности, рекомендуют использование дефектоскопа УД-8М.

Среди методов первой группы наиболее пригодны манометрический и пузырьковый методы с применением воздуха как пробного вещества. В манометрическом методе регистрацию воздуха, проникающего через трещины-течи, осуществляют по изменению общего давления в котле, в пузырьковом (опрессовка с обмыливанием) – регистрацию трещин осуществляют по пузырькам воздуха, выходящим через течи из корпуса котла, сварные швы которого покрывают слоем мыльной пены.

Приведенные методы применяются в вагонном хозяйстве эпизодически и не на всех предприятиях. Кроме того, в действующей технологической документации не оговорены предельные пороги чувствительности этих методов, что дает возможность вольно истолковывать результаты контроля, а реализация методов требует больших затрат времени на контроль, что не позволяет «вписаться» в план ремонта цистерн.

В силу данных обстоятельств в депо и ПТО «прижился» оптико-визуальный метод. Он прост и доступен. Слесарь осматривает котел снаружи в зонах подушек, фасонных лап и сливного прибора. Внутри котла слесарь при помощи светильника и лупы осматривает котел с целью обнаружения трещин на внутренней поверхности. Выявив трещину, слесарь замеряет ее размеры при помощи линейки. Очевидно, что оптико-визуальному методу присущи недостатки, связанные с субъективным характером процесса контроля.

Статистика трещин котла, полученная за четыре квартала 2011 года на ст. Московка Западно-Сибирской железной дороги, подтверждает, что дефектность котлов и температура окружающей среды коррелированы. В первом квартале было обнаружено 220 трещин котла, во втором – 142, в третьем – 87, в четвертом – 90. Учитывая, что план налива цистерн держится на одном уровне, данные цифры можно условно принять за степень дефектности вагонов, которая однозначно связана с температурой окружающей среды в зависимости от времени года: в холодное время (январь – март) число трещин наибольшее, в переходной период (апрель – июнь) – уменьшается, в теплое время года (июль – сентябрь) – наименьшее, в осеннее время (октябрь – декабрь) число трещин увеличивается.

Влияющими факторами в данном случае являются:

- 1) несовершенство конструкции опорных и крепежных деталей котла к раме. При движении груженого вагона возникают динамические нагрузки, которые вызывают колебания котла в «ложе». Это приводит к

местной деформации броневых листов в виде «вмятин», которые являются концентраторами напряжений, вызывают образование трещин и разрушение сварного шва (как следствие, возникают сквозные трещины);

2) свойства и характеристики нефтепродуктов: текучесть и температура налитого продукта, удельный вес. Светлые продукты, такие как бензин, дизельное топливо, обладают большой текучестью. При наливке они проникают в трещины малого раскрытия. В основном это происходит по контуру сварного шва универсального сливного прибора. Температура наливки нефтепродуктов активно влияет на трещинообразование. Например, мазут наливают нагретым до  $+100^{\circ}\text{C}$ . При наливке температура окружающей среды может изменяться от  $+30^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Создавая перепад температур, который вызывает сложную деформацию котла цистерны;

3) пропарка котлов цистерн. Пропарка котлов осуществляется на открытых эстакадах, а температура пара, при помощи которого пропаривают котел, достигает  $+200^{\circ}\text{C}$ . Возникновение перепада температур способствует трещинообразованию.

Таким образом возникает задача обнаружения течи в котлах железнодорожных цистерн с малыми затратами времени и использованием минимального количества расходных материалов и ресурсов в процессе его нагружения давлением. В качестве такого способа используется тепловой метод контроля герметичности.

Предлагаемый способ заключается в следующем.

В процессе нагружения сосуда рабочим телом под давлением (рис. 1), стенки сосуда «растягиваются» и течь (сквозная трещина) «раскрывается». Рабочее тело, истекающее сквозь течь, за счет перепада давлений между внутренней и внешней стенками сосуда согласно эффекту Джоуля-Томсона охлаждается, создавая на поверхности последнего участки температурного контраста. Данный эффект заключается в изменении температуры газа в результате медленного протекания его под действием постоянного перепада давления сквозь дроссель — местное препятствие потоку газа (трещину, расположенную в теле сосуда). Предполагается, что течение газа сквозь дроссель должно происходить без теплообмена газа с окружающей средой (адиабатический процесс). В реальных условиях изолировать систему от теплообмена невозможно, поэтому данный процесс можно считать политропным. Это обстоятельство может быть использовано для обнаружения течи.

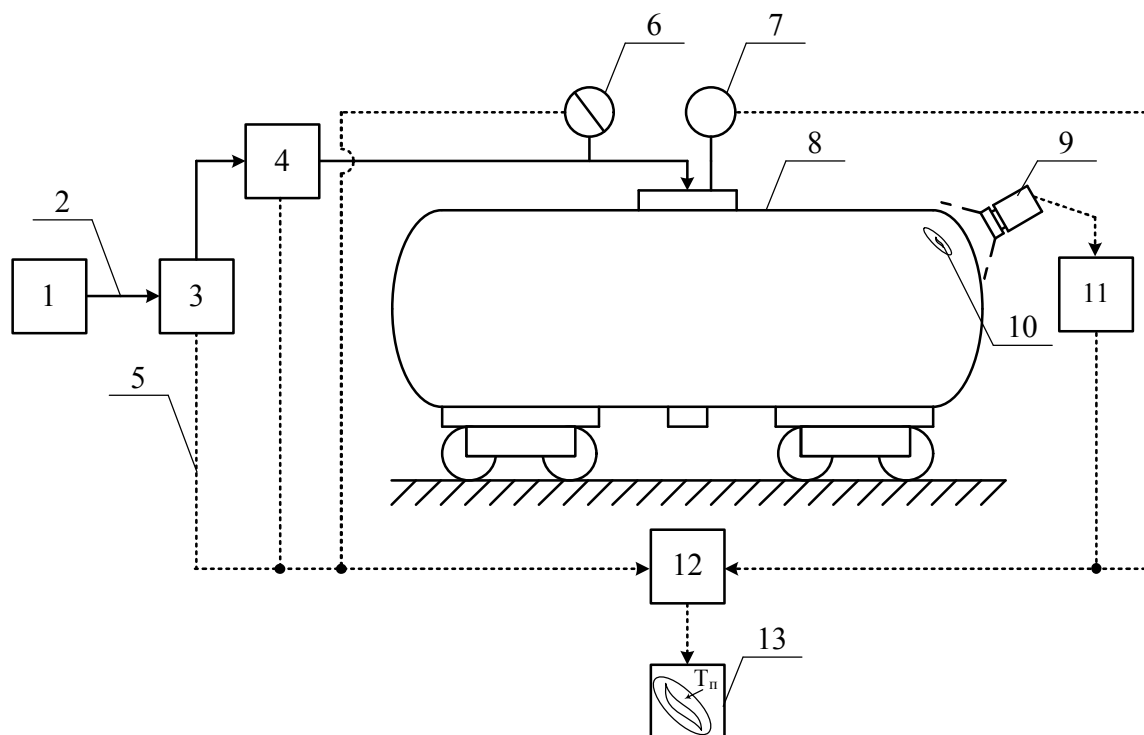


Рис.1.Функциональная схема системы контроля: 1 – парообразователь; 2 – паропровод; 3 – пульт управления; 4 – устройство стабилизации давления и температуры; 5 – соединительные провода, для сбора информации с элементов системы; 6 – манометр; 7 – термометр; 8 – котел цистерны; 9 – тепловизор; 10 – сквозная трещина; 11 – пороговое устройство; 12 – вычислительное устройство; 13 – заключение о герметичности

Участки с аномальной температурой регистрируют (рис. 1) в процессе нагружения сосуда теплочувствительной аппаратурой, например тепловизором, и после соответствующей обработки представляют в виде отчета о результатах контроля. Обработка заключается в обнаружении участков аномальной температуры на фоне помех и шумов, идентификации и определении координат течи путем уменьшения установленного порогового значения температуры на рассчитываемую величину  $\Delta T$  по формуле:

$$\Delta T = T_{p.t.} - T_{\text{в}} = \left[ \frac{(P_2 - P_1) \cdot R_{\text{эк}}^2 \cdot \varphi}{4 \cdot \eta \cdot l} \right]^2 \cdot \frac{\mu_{p.t.}}{2 \cdot c_p},$$

где  $\Delta T$  – температура поправки;  $T_{\text{в}}$  – температура приповерхностного наружного слоя воздуха, К;  $T_{p.t.}$  – температура рабочего тела внутри сосуда, К;  $P_1, P_2$  – давление окружающей среды и рабочего тела в сосуда соответственно, МПа;  $R_{\text{эк}}$  – эквивалентный радиус течи, м<sup>2</sup>; рассчитывается по формуле,  $S$  – площадь течи, м<sup>2</sup>;  $\eta$  – вязкость рабочего тела, Па·с;  $l$  – толщина стенки сосуда, м;  $\varphi$  – коэффициент скорости истечения рабочего тела;  $\mu_{p.t.}$  – молярная

масса рабочего тела,  $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ ;  $C_p$  – молярная теплоемкость рабочего тела при постоянном давлении,  $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ .

Использование данного способа контроля герметичности позволяет определять как сквозные, так и поверхностные дефекты. Также способ позволяет снизить время, затрачиваемое на контроль одной цистерны, исключить субъективность в принятии решения дефектности котла и повысить достоверность результатов контроля.

## СОЗДАНИЕ ШТРИХОВЫХ КОДОВ НА ТЕРМОУСАДОЧНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ

*Коновалова М.В.<sup>1</sup>*

*Московский государственный университет печати  
имени Ивана Федорова, г. Москва*

Подделка изделий является серьезной и быстрорастущей проблемой для многих компаний, до тех пор, пока жесткие и эффективные меры не будут приняты, все большее количество компаний будут страдать от этой криминальной деятельности.

Кроме юридической защиты существует ряд технических мер, которые могут быть использованы для защиты изделия. Основным способом идентификации подлинности товара все-таки остается индивидуальная упаковка [1]

Для защиты упаковки от подделки нами предложено использование двух штриховых кодов, один из которых несет на себе функции защиты от фальсификации, а другой предназначен для торгово-складских операций и не рассматривается в данной работе.

### Позитивный вариант создания элементов защиты

Для получения позитивного варианта планарного штрихового кода, необходимы дисторгирование изображения и термостабилизация выбранного участка пленки.

Термостабилизация - способ получения градиентного материала, путем нагревания (при определенном времени и давлении) отдельных участков полимерной пленки с целью создания термостабилизированных зон, которые при термоусадке не изменяются в размерах.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Кондратов А.П., д.т.н., профессор кафедры материаловедения МГУП

Печать на термоусадочной пленке производилась трафаретным способом.

Подбор расходных материалов осуществлялся с учетом морфологических особенностей полимеров и рекомендаций производителя.

При печати на термоусадочном поливинилхлориде, следует учитывать, что главными свойствами, которыми должны обладать краски – эластичность, стойкость к термической обработке.

В зависимости от варианта защитного штрихового кода, запечатывание материала может производиться как до, так и после его термомодификации.

#### Дисторсия

Используемое нами понятие дисторсии имеет несколько иной смысл, нежели принято в фотографических процессах или электронно-оптических рентгеновских исследованиях. Точнее говорить о геометрических искажениях (геометрических аберрациях) что, по сути, и является дисторсией. В данном случае речь идет о дисторсии штрихового кода, вернее отдельно взятого фрагмента, который подвергается растяжению на этапе электронной подготовки оригинала (рис.1). [2]

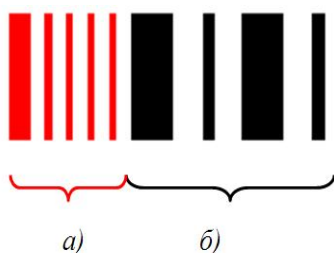


Рис.1. Дисторсия штрихового кода: а) не дисторгированный, термостабилизированный фрагмент штрихового кода; б) растянутый фрагмент

Считывание данного штрих-кода возможно только после термоусадки полимерного материала (рис.2).



Рис.2. Дисторгированный штрих-код считываемый после термоусадки

Дисторгированию может подвергаться не только группа штрихов и пробелов, но и отдельно взятый элемент (Рис.3). Тогда



термостабилизирование должно проводиться на всей площади штрихового кода за исключением растянутого элемента, что не всегда технологично из-за конструктивных особенностей установки для термостабилизации.

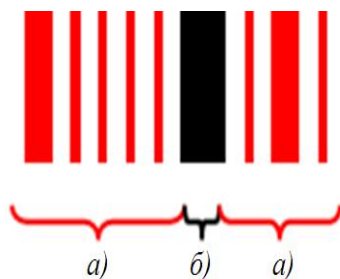


Рис. 3. Дисторсия одного элемента штрихового кода: а) не дисторгированный, термостабилизированный фрагмент штрихового кода; б) растянутый элемент

Процесс электронной подготовки оригинала производится с учетом коэффициента усадки полимерного материала.

Нами предложен вариант защиты штрихового кода с помощью термической стабилизации не требующий дисторгирования. Так, например, QR-код с термостабилизированной зоной проходящей по диагонали от левого нижнего угла к правому верхнему, считывается до термоусадки, а после термоусадки на изображении проявляется эффект тактильной метки, которая в свою очередь делает QR-код не видимым для сканирующих устройств (рис.3) [3].

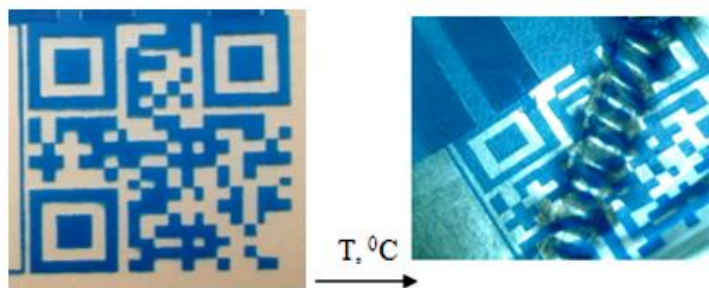


Рис. 4. QR-код с термостабилизированной зоной до и после термоусадки

Эффект локального коробления, обусловлен сопротивлением термостабилизированных узких интервалов, усадке всего остального материала. [4]

#### Негативный вариант создания элементов защиты

В «негативном» варианте защиты, дисторсия элементов изображения не требуется. Готовое изображение (штрих-код), отпечатанное трафаретным способом на термоусадочной пленке подвергается термической модификации.

При получении интервального материала в «негативном» варианте происходит не стабилизация термообрабатываемого интервала, а локальная усадка с уменьшением ширины отдельно взятого элемента или группы элементов (штрихов, пробелов) на 30 – 50% (Рис.4). Этой усадки достаточно, чтобы полученное искаженное изображение не считывалось устройствами идентификации штриховых кодов. [3]



Рис. 4. Нечитаемый штрих-код после локальной усадки: а) локальная усадка штриха, б) локальная усадка пробела, в) локальная усадка групп штрихов и пробелов

При локальной усадке группы элементов, находящихся рядом, площадь группы должна составлять не более 20% от изображения. В противном случае большая площадь усадки неизбежно приводит к необратимому короблению и порче внешнего вида оттиска.

После термоусадки соотношение размеров штрихов и пробелов, а также расстояние между ними восстанавливается, штрих-код становится видимым для сканирующих устройств.

#### **Список информационных источников**

1. Руководство по борьбе с поддельной продукцией Сайт компании «TrademarksProtectionGroup» [Электронный ресурс] URL: <http://www.protection-tm.com>
2. Коновалова М.В. доклад «Обоснование выбора материалов и условий трафаретной печати на полимерных пленках с изменением геометрии» конференция молодых ученых и аспирантов МГУП 2012
3. Интервальные наномодифицированные полимерные материалы с защитно-информационной маркировкой для изделий и упаковки товаров массового потребления: отчет о НИР: №16.513.12.3022/ М-во образования РФ, МГУП; рук. Алфимов; исп.: Кондратов А.П. [и др.]. – М., 2012
4. Коновалова М.В. «Особенности трафаретной печати на градиентных термоусаживаемых пленочных материалах ПВХ при изготовлении защитных этикеток или упаковки» / Вестник МГУП. – 2011. - №6.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД

*Кравченко Д.С.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Разработка методов мониторинга изменений напряженно-деформированного состояния массивов горных пород при отработке месторождений твердых полезных ископаемых имеет большое значение для безопасности людей, окружающей среды, промышленных объектов и самих горных работ, а также и для эффективной добычи руд. В проблемной лаборатории ЭДиП ТПУ на протяжении многих лет ведется разработка метода мониторинга, основанного на явлении механоэлектрических преобразований. Базовым полигоном для отработки разрабатываемого метода является Таштагольское железорудное месторождение. В пределах шахтного поля рудника изменения напряженно-деформированного состояния массива вызвано взаимодействием естественных тектонических напряжений, которые определяются природными факторами, и технических напряжений, которые создаются инженерной деятельностью человека. На Таштагольском руднике отработка твердых полезных ископаемых проводится с использованием технологических взрывов различной мощности. В результате взрывов происходит перераспределение механических напряжений в горном массиве, при этом снижение напряжений на одном участке массива сопровождается их возрастанием и созданием удароопасных ситуаций на других участках. В этом случае технология горных работ выступает в роли главного технического фактора, способствующего возникновению геодинамических событий на месторождении. Немаловажное значение в создании удароопасных ситуаций на руднике имеет глубина отработки. В связи с этим особую важность приобретает знание характера и уровня воздействия каждого из основных элементов и процессов технологии на состояние массива горных пород и реакцию массива на это воздействие [1]. В настоящее время сотрудниками лаборатории ведется создание базы данных изменений характеристик электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) в период

---

<sup>1</sup> Научный руководитель: Яворович Л.В., к.т.н., с.н.с. проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников ИНК ТПУ

проведения массовых взрывов. Однако, проведение только полевых работ не достаточно для выявления основных закономерностей механоэлектрических преобразований. Ведется большой объем лабораторных исследований изменений характеристик ЭМЭ и параметров электромагнитных сигналов (ЭМС) при одноосном сжатии образцов горных пород, отобранных на Таштагольском железорудном месторождении.

В связи с этим была поставлена задача, исследовать спектральные характеристики ЭМС на различных этапах изменения напряженно-деформированного состояния образцов горных пород Таштагольского рудника. В экспериментах квазистатическая нагрузка реализовывалась одноосным сжатием с постоянной скоростью деформирования до разрушения. Фиксировалось усилие, прикладываемое к образцу, продольная деформация, а также характеристики ЭМЭ и электромагнитные сигналы на различных этапах напряженно-деформированного состояния. Характеристики ЭМЭ, зарегистрированные в процессе экспериментов, регистрировались с использованием разработанного в лаборатории устройства РЕМС1 [2], который позволяет в реальном режиме времени фиксировать изменение амплитудных значений ЭМЭ на трех фиксированных частотах 2, 15 и 100 кГц, а также интенсивность ЭМЭ. Аналоговые ЭМС, генерируемые горной породой в процессе изменения напряженно-деформированного состояния регистрировались с помощью специальной аппаратуры с выводом на компьютер. В дальнейшем спектральный анализ параметров ЭМС проводили с использованием специальных и стандартных программ, позволяющих проводить процедуру быстрого преобразования Фурье, что позволило выявить спектральный состав ЭМС на различных этапах напряженно-деформированного состояния образцов.

Образцы исследуемых горных пород представляли собой цилиндры размерами  $(8 \times 4)10^{-2}$  м. Торцевые поверхности образцов подвергались шлифовке и выравнивались до плоскопараллельности, чтобы при одноосном сжатии избежать нежелательных тангенциальных напряжений. Все образцы были разделены на две основные группы: магнетитовая руда и вмещающая порода. Образцы магнетитовой руды были с включениями кварца и кальцита, распределенных различным образом по объему образца. Образцы вмещающей породы были представлены скарнами и сиенитами. Объединение в одну группу вмещающих пород обусловлено тем, что эти породы по своим механическим и электрическим свойствам примерно одинаковые. Главное различие между группами руды и вмещающей породой

заключается в том, что они отличаются по электрическим характеристикам.

Проведенный сравнительный анализ спектральных характеристик ЭМС магнетитовой руды и вмещающей породы выявил, что для руды амплитудно-частотные спектры ЭМС ограничены частотной полосой до 120 кГц. Для вмещающих пород амплитудно-частотный спектр ЭМС значительно расширяется в сторону увеличения и достигает 800 кГц. Это определяется тем, что основным минералом, входящим в состав магнетитовой руды является магнетит, который обладает свойствами металла. Электрическое сопротивление магнетита около  $1 \cdot 10^{-2}$  Ом/м, а для магнетитовой руды оно меняется от 1 до  $1 \cdot 10^3$  Ом/м, а, следовательно, в таких образцах при приложении механической нагрузки механоэлектрические преобразования возможны только при присутствии в них диэлектрических минералов, не способных проводить электрический ток. Поскольку в составе образцов магнетитовой руды присутствуют определенное количество вмещающей породы, кальцита или кварца, в процессе деформирования генерируются ЭМС определенного частотного диапазона.

На этапе формирования очага разрушения в амплитудно-частотном спектре ЭМС магнетитовой руды выявлены частотные полосы 55 кГц, 86 кГц, 92 кГц в отличие от спектральных характеристик ЭМС этапа уплотнения, на котором присутствуют полосы всего частотного диапазона.

Для образцов вмещающей породы на этапе формирования очага разрушения выявлены частотные полосы в диапазоне до 800 кГц. При приближении к предельной нагрузке уменьшается количество ярко выраженных частотных полос, и они сгруппированы в средней части спектра (263 кГц, 395 кГц, 668 кГц) частотного диапазона (1÷800 кГц). На этапе уплотнения амплитудно-частотный спектр ЭМС характеризуются частотными полосами в диапазоне от 19 кГц до 370 кГц.

При достижении образцами предельной прочности амплитудно-частотные спектры ЭМС становятся низкочастотным как для магнетитовой руды, так и для вмещающей породы.

Проведенные исследования спектральных характеристик ЭМС при одноосном сжатии образцов горных пород, представленных магнетитовой рудой и вмещающей породой позволили выявить отличия в параметрах ЭМС, генерируемых при механоэлектрических преобразованиях в процессе одноосного сжатия. Проведенные исследования внесут вклад в выявление закономерностей механоэлектрических преобразований при изменении напряженно-

деформированного состояния массивов горных пород в период проведения массовых технологических взрывов.

#### **Список информационных источников**

1. Егоров П.В., Шевелев Ю.А., Матвеев И.Ф., Скляр Н.И., Квочин В.А. Управление состоянием массива горных пород на рудниках Горной Шории, Кемерово, 1999, 257 с.
2. Беспалько А.А., Хорсов Н.Н. Аппаратурный комплекс для исследования напряженно-деформированного состояния горных пород в шахтах.//Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: Труды Международной конференции,- Новосибирск, 2004.- С.210-213.

### **ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ**

***Кырмакова О.С.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Нефть и нефтепродукты обладают свойствами, с одной стороны, ценного и важнейшего товара, а с другой стороны, опасного для человека и окружающей природной среды вещества.

В настоящее время на территории России ежегодно происходит более 20 тысяч официально зарегистрированных аварий, сопровождающихся значительными разливами нефти. Объемы среднего разлива колеблются от 3 до 20 кубических метров.

В работе рассмотрена возможная авария на нефтеперекачивающей станции (далее НПС), в результате разгерметизации фланцевого соединения трубопровода, приведен расчет максимальных размеров взрывоопасных зон, Расчет границ зон поражающих факторов пожара разлива нефти, рассмотрено воздействие поражающих факторов аварии на персонал и здания объектов, приведены технологии обеспечения пожаровзрывобезопасности.

Объем нефти, циркулирующей во время возникновения аварии на НПС, составляет 150 тонн, размеры НПС: 140м · 45м · 7м., резервуарный парк №1 ,состоящий из четырех РГС-50 (случай А), расположен от рассматриваемого нами ОПО на расстоянии 75 м., резервуарный парк №2, состоящий из четырех РВС-2000 (случай С),–

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Сечин А.И., д.т.н., профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ

210 м., кроме того на расстоянии 100 м. от НПС расположенное офисное здание (случай **В**), общая численность состава персонала составляет-18 человек.

Расчеты проведены относительно 3-х случаев **А, В, С** для рядом находящихся объектов: резервуарного парка №1, офисного здания, резервуарного парка №2, соответственно.

#### Расчет максимальных размеров взрывоопасных зон

Для обеспечения пожарной безопасности на этапе ликвидации аварии, необходимо иметь представление о границах пожароопасной зоны вокруг возможного разлива нефти.

Внутри этой зоны устанавливается особый противопожарный режим (запрещается использование открытого огня и допускается использование оборудования только во взрыво-, пожаробезопасном исполнении). Граница этой зоны располагается на расстоянии  $R_{НКПР}$  от границы разлива.

Расстояние  $R_{НКПР}$ , ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) в горизонтالي рассчитывается по методике Приложения В СП 12.13130.2009, по формуле для паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ):

$$R_{НКПР} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \left( \frac{P_n}{C_{НКПР}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m_n}{\rho_n P_n} \right)^{0,333}, \quad (1)$$

где  $C_{НКПР}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени паров ЛВЖ, % (объемных) (для нефти  $C_{НКПР} = 5,28$  %);  $K$  – коэффициент, принимаемый равным  $K = T/3600$  для ЛВЖ;  $m_n$  – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 3600 с, кг, (определяется согласно формулы (3.3.6));  $\rho_n$  – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре и атмосферном давлении,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

#### Расчет границ зон поражающих факторов пожара разлива нефти

Расчет зоны действия поражающих факторов для пожара разлива нефти приведен в соответствии с методикой, представленной в Приложении В.5 СП 12.13130.2009 [5].

Интенсивность теплового излучения  $q$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , вычисляется по формуле:

$$q = E_f F_q \tau, \quad (2)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

Значение  $E_f$  принимается на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать  $E_f$  равным  $450 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Эффективный диаметр пролива  $d$ , м, вычисляется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (3)$$

где  $F$  – площадь пролива,  $\text{м}^2$ .

Высота пламени  $H$ , м, по формуле:

$$H = 42d \left( \frac{M}{\rho_{\text{в}} \sqrt{gd}} \right)^{0,61}, \quad (4)$$

где  $M$  – удельная массовая скорость выгорания жидкости,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность окружающего воздуха,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

Определяется угловой коэффициент облученности  $F_q$  по формулам:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (5)$$

где  $F_V$ ,  $F_H$  — факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, которые определяют с помощью выражений:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} \right], \quad (6)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{B-1/S}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right], \quad (7)$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}, \quad (8)$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2S}, \quad (9)$$

$$S = \frac{2r}{d}, \quad (10)$$

$$h = \frac{2H}{d}, \quad (11)$$

где  $r$  – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Определяется коэффициент пропускания атмосферы по формуле

$$\tau = \exp \left[ -7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5d) \right]. \quad (12)$$

Результаты расчетов (характер воздействия определен относительно предельно допустимых значений интенсивности



теплового излучения пожара разлива нефтепродуктов представленных в ГОСТ Р 12.3.047-98 [1]):

«А»:  $Q=90,16 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , т.к. уже при  $20 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , возникают мгновенные болевые ощущения через 4с, ожог 1-й степени через 6-8 с, 2-й степени через 12-16 с, то возможен летальный исход, что касаясь зданий, то через 10 мин будет происходить разрушение стальных конструкций;

«В»:  $Q=43,78 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , на человека воздействие аналогичное «А», здания - разрушение стальных конструкций;

«С»:  $Q=6,76 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , у человека возникает непереносимая боль через 20—30 с, для деревянных и металлических конструкций - безопасно.

Эффективный диаметр пролива в результате расчетов равен 89,6 м, следовательно, резервуарный парк №1, находящийся от НПС в 75м, подвергается воздействию факторов пролива, это означает, что возможно возникновение цепного типа аварии, а в эффективный диаметр «огненного шара» равен 262,61 м, т.е. в зону его воздействия попадают все три рядом расположенных объекта: резервуарный парк №1, офисное здание и резервуарный парк №2.

Для рассматриваемой нефтеперекачивающей станции для предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций в ходе работы предложено создание систем промышленной и пожарной безопасности (СППБ) на основе современных автоматизированных комплексов, которые включают в себя системы:

1. контроля и сигнализации предельных уровней налива (входит в состав АСИМ);
2. блокировки электронасосных агрегатов (входит в состав АСИМ);
3. контроля и сигнализации дозрывных концентраций паров нефтепродуктов;
4. пожарной сигнализации;
5. пожаротушения;
6. пожаровзрывозащиты;
7. предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов;
8. оповещения и эвакуации технического и административного персонала;
9. связи и управления;
10. видеонаблюдения;
11. охранный сигнализации.

### **Список информационных источников**

1. ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».
2. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов».
3. ГОСТ 12.1.010-76 (1999) «Взрывобезопасность. Общие положения».
4. СНиП 2.04.09.84 «Пожарная автоматика зданий и сооружений».
5. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В БЕТАТРОНАХ МОБИЛЬНЫХ ДОСМОТРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*Лаас Р.А., Рычков М.М., Крёнинг Х.М.*

*Международная Научно-Образовательная Лаборатория*

*Неразрушающего Контроля*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Циклические ускорители электронов – бетатроны - нашли широкое применение в медицине, а тормозное излучение электронного пучка может служить для проведения неразрушающего контроля материалов. Тема очень актуальна и интересна с точки зрения физической защиты. В целях обеспечения нераспространения всё чаще встаёт необходимость проводить инспекции на различных пропускных пунктах. Основным преимуществом бетатронов против линейных ускорителей является их компактность и низкая стоимость, что позволяет создавать на их основе дешёвые мобильные досмотровые рентгеновские. Такие комплексы могут значительно упростить и ускорить процедуру досмотра транспортных средств и персонала.

Однако, технология использования бетатронов требует точных расчётов и исследований свойств циркулирующего в ускорительной камере пучка электронов. Для дальнейшего улучшения резкости изображений, получаемых с помощью рентгеновского излучения, необходимо контролировать пучок с момента инжекции до момента отвода пучка на цель непрерывно. До сегодняшнего дня измерения проводились лишь на этапах инжекции или вывода пучка из камеры. Контроль параметров пучка позволит определить тонный вид колебаний пучка и максимально его стабилизировать на равновесной орбите.

Для непрерывного исследования параметров пучка, необходимо чтобы метод оказывал минимальное воздействие на сам пучок, не влияя на его развитие. Методы, не изменяющие свойств пучка, называются прозрачными. Однако, применение методов резко ограничено конструктивными особенностями бетатрона. В первую очередь речь идёт об управляющем магнитном поле бетатрона, которое сразу ограничивает применение любых методов с использованием сторонних магнитных полей, а так же ферромагнетических материалов. Радиационные методы не подходят в виду их низкой чувствительности. Важным ограничением является так же тот факт, что пучок во время ускорения не колиммирован, но распределён по объёму камеры, что сильно ограничивает конструктивно применение методов прямого измерения тока пучка. Наиболее подходящими для наших целей были выбраны ионизационный и оптический методы

### 1. Ионизационный метод

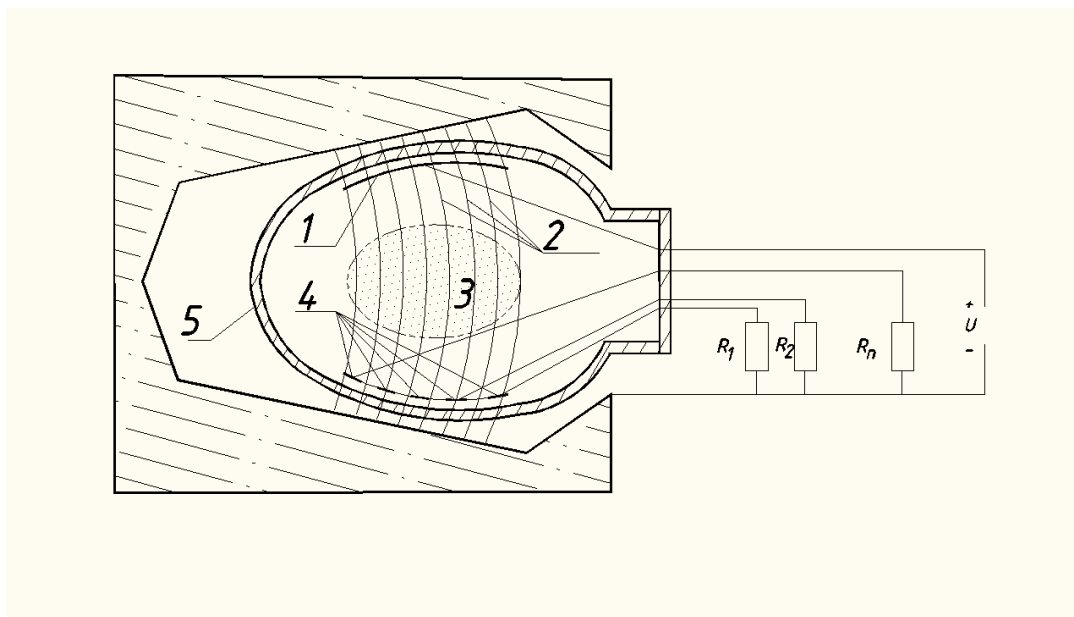


Рис.1 Схема ионизационных датчиков

Идея ионизационного метода заключается в измерении тока вторичных электронов, обусловленного ионизацией остаточного газа в ускорительной камере циркулирующим пучком. Ионизационная способность электронов ниже чем протонов, однако, ввиду высокой концентрации и скорости вращения, оказывается достаточной для проведения измерений. Сигнальные электроды помещаются непосредственно в ускорительной камере 5 сверху и снизу пучка 3. На анод 1 подаётся разность потенциалов  $U$  до 2 кВ, катод разделён на секции 4, каждая из которых заземлена через сопротивления  $RR$ .

Количество секций зависит от размера ускорительной камеры бетатрона. Вторичные электроны движутся на катод вдоль линий магнитного поля 2. Для компенсации воздействия на пучок следом за первой парой электродов помещается вторая с обратной полярностью. Ток стекает с электродов через сопротивления на землю, напряжение на резисторах прямо пропорционально току циркулирующего пучка. Для определения центра тяжести пучка, один из сигнальных электронов делится по диагонали на 2 сектора, измеряется суммарный и разностный сигнал, их отношение служит характеристикой положения максимума электронной плотности пучка. Важной характеристикой метода является его чувствительность, которая определяется как отношение тока стекающего с коллекторных электродов к всему циркулирующему току пучка

$$S_I = \frac{I_k}{I_c} = klpB(E) \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент сбора вторичных электронов,  $l$  – длина секции коллектора,  $p$  – давление остаточного газа в камере,  $B(E)$  – вероятность ионизации, определяемая как число пар ионов, созданных на 1 см пути при давлении 1 МПа одним протоном или электроном.

$$B(E) = \frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion}}{\varepsilon p_0} \quad (2)$$

где  $p_0$  – атмосферное давление,  $\varepsilon$  – средняя энергия, необходимая для создания 1 пары ионов,  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion}$  – ионизационные потери – среднее количество энергии, потерянное частицами на см пути.

Зависимость чувствительности от ускоряемых частиц определяется вероятностью ионизации, а вид зависимости определяется ионизационными потерями

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = 4\pi e^4 N_a Z_a \sqrt{\frac{e}{2}} \frac{\ln\left(\frac{mv^2}{2I}\right)}{mv^2} \quad (3)$$

а для релятивистских частиц

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = 2\pi e^4 N_a Z_a \ln\left[\frac{(E^2/mc^2 I^2) + \frac{1}{8}}{mc^2}\right] \quad (4)$$

## 2. Оптические методы

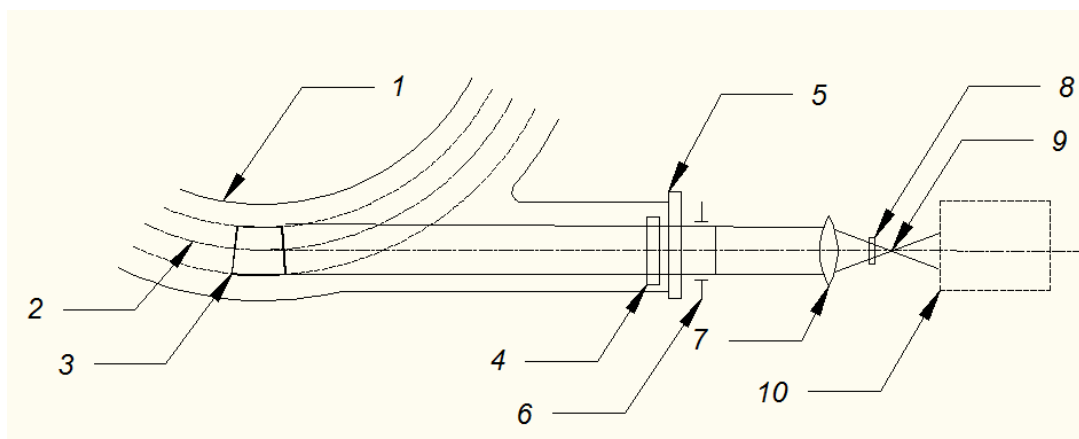


Рис.2. Схема анализа оптическим методом

Оптические методы просты в использовании и обладают высокой экспрессностью. Основная идея заключается в использовании высокоскоростной камеры для проведения съёмки поперечного сечения пучка. Движущиеся на высокой скорости электроны излучают в инфракрасных областях. При помощи этого метода может быть получена важная информация о распределении электронной плотности пучка по сечению во времени. Излучение электронов, движущихся по орбите 2 в ускорительной камере 1 через оптическое окно 5, попадает на линзу 7 высокоскоростной камеры 10. Диафрагма 6 служит для изменения глубины резкости. При правильно подобранном значении диафрагмы, камера будет снимать цилиндрический объём 3. Если требуется монохроматическое излучение, на пути излучения ставится светофильтр 4. Полученное изображение позволит наглядно судить о распределении электронной плотности по сечению пучка во времени, что является важнейшей характеристикой для определения колебаний пучка.

### Список информационных источников

1. Москалёв В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц: Москва 1991
2. Москалёв В.А Бетатроны: Москва, 1981
3. Сергеев Г.И. Измерение параметров пучка электронов ионизационным методом: Томск 1980
4. J.D. Lawson The physics of charged-particle beam, Clarendon press 1977
5. Dressel R.W. // Phys. Rev. 144.1.1996. p 332

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Лимарева А.В.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Одной из важнейших характеристик качества средств измерений (СИ) является метрологическая надежность (МН).

Под метрологической надежностью понимают свойство СИ сохранять во времени метрологические характеристики в пределах установленных норм при эксплуатации в заданных режимах и условиях использования, техническом обслуживании, хранении и транспортировании [1]. Следовательно, метрологическая надежность определяется характером и темпом изменения нормируемых согласно ГОСТ 8.009-84 метрологических характеристик (МХ) исследуемого СИ.

Усложнение измерительной аппаратуры, повышенные требования к точности, применение качественно новых элементов, с одной стороны, и все возрастающая роль СИ в производственном процессе, с другой, ставят задачу разработки научно обоснованных методов оценки метрологической надежности проектируемых СИ в число важнейших задач теоретической и практической метрологии [2].

Одной из проблем в практической метрологии является *развитие теории метрологической надежности на основе общенаучной методологии системного подхода*. В XX веке ученым и специалистам-метрологам не удалось найти взаимосвязь метрологических характеристик с параметрами МН СИ и создать адекватные вероятностно-физические модели метрологических отказов (МО) СИ разных групп и классов точности. Дальнейшее решение проблемы обеспечения МН СИ и ИС в метрологии и измерительной технике связано с развитием и внедрением новой стратегии развития теории МН.

Второй проблемой является *синтез вероятностно-физических моделей метрологических отказов*. В теории метрологической надежности (ТМН) наиболее перспективными становятся гибкие вероятностно-физические модели МО на основе двух- и

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Кулешов В.К., д.т.н., профессор кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

многопараметровых функций плотности распределения случайных величин. По мере создания все новых вероятностно-физических моделей метрологических отказов СИ с последующей оценкой МХ этих моделей будет решаться и проблема определения параметров этих моделей. Новая стратегия развития ТМН в XXI веке должна позволить разработать методы и уравнения измерений не только параметров системной метрологической характеристики (СМХ), но и параметров вероятностно-физических моделей МО СИ каждой группы и класса точности с целью определения метрологического ресурса, других параметров МН СИ.

Следующая проблема – *поиск баз данных периодических проверок*. В начале XXI века исчезла практически вся информация о поверках СИ за последние (20–50) лет, в том числе и журналы периодических проверок. Отсутствие данной информации о результатах проверок тормозит развитие ТМН и может отбросить назад на двадцать и более лет решение практических задач присвоения СИ той или иной группы и класса точности адекватной вероятностно-физической модели МО. Метрологическим службам необходимо приложить усилия по восстановлению и созданию межгосударственных баз данных по периодическим поверкам СИ. В противном случае необходимо будет поставить на продолжительную (1–3 года) интенсивную прогонку (искусственное старение) СИ разных групп и классов точности, проводить их периодическую поверку с уменьшенными межповерочными интервалами, чтобы наверстать упущенное и иметь объективное представление о распределении нормируемых погрешностей в течение времени наработки СИ до и на метрологический отказ.

Не менее важная проблема – *разработка методологии проектирования сверхнадежных средств измерений*. Особенностью новой стратегии измерений должна стать возможность использования ее по двум направлениям:

- реализация новой стратегии измерений с помощью существующих;
- создание новых СИ с иными требованиями к стабильности параметров ИК.

В этой связи проблема разработки методологии проектирования сверхнадежных СИ несомненно является актуальной. Она должна решаться с учетом особенностей измерения величин разной физической природы, особенностей воспроизведения нормированных по значению величин мерой, стандартными образцами состава веществ и свойств материалов и т. д.

Методология осветит основные принципы создания средств избыточных измерений и даст разработчикам ответ о закладываемых допустимых значениях показателей быстродействия и нестабильности измерительных каналов.

Пятой проблемой является *проведение проверок в процессе искусственного старения средств измерений*. Решение задачи привязки каждой вероятностно-физической модели метрологических отказов СИ той или иной группы и класса точности может быть намного облегчено, если знать предысторию изменения нормируемой погрешности в течение времени искусственного старения (прогонки) СИ.

В этой связи весьма актуальным является решение проблемы получения информации об изменениях (о динамике) нормируемых погрешностей не только в течение времени эксплуатации СИ, но и в течение времени искусственного старения (прогона) СИ.

Следует узаконить необходимость проведения первоначальных трех-пяти проверок СИ при осуществлении их прогона в условиях эксплуатации, близких к реальным, и фиксацию результатов проверок в паспорте на СИ.

Следующая проблема – *создание программно-алгоритмического обеспечения задач теории метрологической надежности*. Новая стратегия развития ТМН в XXI веке предполагает разработку собственного программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) задач МН СИ, разработку методов и пакетов прикладных программ (ППП) по текущему контролю и прогнозированию метрологических отказов СИ, и своевременному оповещению пользователя, разработку ППП для баз знаний, экспертных систем и интеллектуальных интерфейсов.

Надежность техники всегда была одной из основных инженерных проблем, и ей всегда уделялось большое внимание. За последние десятилетия эта проблема значительно обострилась, что обусловлено главным образом такими причинами как увеличение сложности техники (чем больше элементов, тем больше вероятность того, что хотя бы один из них окажется неработоспособным), усиление интенсивности режимов работы, сложность условий эксплуатации (сверхвысокие скорости, высокие температуры и давления). Отказы многих современных технических систем могут привести к катастрофическим последствиям, крупным техническим и экономическим потерям [3].

Затрагивая проблемы обеспечения надежности ТС, можно выделить наиболее актуальные из них: *назначение межповерочных и межкалибровочных интервалов сложных измерительных систем* (в настоящее время отсутствуют утвержденные правила и методы по нормированию и назначению показателей метрологической надежности



измерительных систем), а также *недостаточное развитие метрологического обеспечения измерительных систем, входящих в автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП)* – существующее метрологическое обеспечение в основном разрабатывалось для автоматизированных систем управления и учета энергоресурсов (нефти и нефтепродуктов, газа, тепловой, электрической энергии и воды), однако, как, показывает практика, измерительные системы АСУ ТП имеют свои специфические особенности (измерение разнородных физических величин, применение различных СИ, работающих в различных диапазонах, а также поддержание особого технологического режима), что говорит о необходимости дальнейшего исследования как самого метрологического обеспечения, так и развития обеспечения надежности в этой области.

#### **Список информационных источников**

1. ГОСТ Р 53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2010–12–09. – М.: Стандартинформ, 2010. – 27 с.
2. Чернышова Т.И. Метрологическая надежность средств неразрушающего контроля теплофизических материалов и изделий: Автореферат ... дис. д.т.н. – Тамбов: ТГТУ, 2002. – 23 С.
3. Кондратов В.Т. Проблемы метрологической надежности и пути их решения // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2009. – № 8. – С. 138-152

### **ШАРИКО-ВИНТОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ**

***Макарова Н.В.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Применяемость механических передач обусловлена функционированием их во многих современных механических и электромеханических устройствах.

В настоящее время все более широкое применение находят передачи с промежуточными телами качения (ПТК), как наиболее перспективные с точки зрения обеспечения необходимых технических характеристик. Механизмы с этими передачами используются при

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Янгулов В.С., к.т.н., заведующий учебно-научным центром на базе Института оптики и атмосферы СО РАН

производстве транспортных средств, водоподготовке, в робототехнике, космической, горно-шахтной, нефтегазовой, теплоэнергетической, пищевой промышленности. Эти передачи обеспечивают высокую нагрузочную способность, увеличение крутящего момента и передаточного числа при уменьшении габаритов, продолжительный срок службы, плавность и бесшумность работы.

Шарико-винтовая передача (ШВП) (рис. 1) – наиболее распространённый тип передач, в которых ПТК – 4 выполняют функцию катков, расположенных между витками винта – 1 и гайки – 2, что существенно снижает потери мощности на трение. ШВП служит для преобразования вращательного движения винта в поступательное перемещение рабочего органа механизма. Циркуляция шариков, как правило, происходит через внешний возвратный канал – 3. Так же между шариками могут быть расположены сепараторы, которые исключают трение между ними, в значительной степени повышают рабочие характеристики.

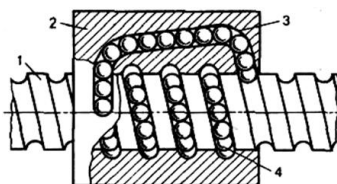


Рис. 1. Шарико-винтовая передача

Предварительный натяг в зацеплении достигается путем осевого смещения витков гайки относительно витков вала или за счет того, что размер шариков несколько больше, чем размер канавок это обеспечивает появление четырех точек контакта.

Проектирование передач винт – гайка имеет целый ряд особенностей. Для нормального движения шариков между винтовыми поверхностями винта и гайки необходимо цепочку шариков сформировать в замкнутый контур. Для этой цели предназначены различные обводные (рециркулярные) каналы, которые выполняют либо в теле гайки (это встречается часто), либо в теле винта. В последнем случае передача заметно выигрывает в габарите, но гайку приходится делать значительно длиннее обычной (рис. 2), так как ход механизма будет определяться её длиной.

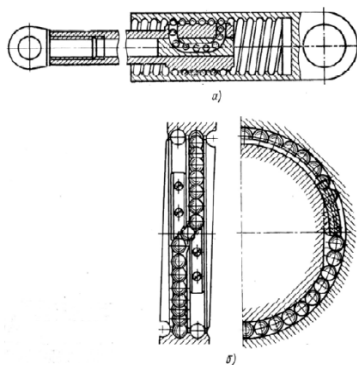


Рис.2. Рециркуляция шариков в теле винта

Выполнение внутренней винтовой нарезки более трудоёмко и это в значительной мере сдерживает распространение таких конструкций. Обводной канал в теле гайки выполняют в виде специально изогнутой трубки (рис. 3, а, в), в виде фрезерованного канала в теле гайки (рис. 3, б); в виде специального вкладыша, соединяющего две соседние канавки винтовой резьбы (рис.3,д, е, ж).

Перепуск шариков с помощью трубки широко распространён, ею соединяют начало и конец рабочего участка винтовой канавки, т. е. участка, заполненного шариками. Направление шариков в трубку производится либо непосредственно концом самой трубки (рис. 3,в), либо специальными отражателями, которые устанавливают в корпусе гайки. В первом случае наблюдается довольно быстрый износ выступов, входящих в каналы резьбы (особенно при некоторой неточности положения отверстий относительно винтовой канавки). Более надёжно применение специальных отражателей (рис. 3,г), которые часто снабжают выступами в форме скребка для очистки от грязи винтовой канавки винта. Если же возврат шариков происходит по фрезерованному пазу в теле гайки, то для направления шариков в обводной канал устанавливают отражатели. Такая конструкция позволяет уменьшить радиальные размеры по сравнению с обводной трубкой.

С целью дальнейшего уменьшения радиального размера передачи применяют специальные профильные вкладыши (рис. 3,д, е, ж), которые вставляются в прорези гайки и соединяют соседние витки. Во время работы цепочка шариков циркулирует по замкнутой винтовой канавке гайки на величине одного шага резьбы. При такой конструкции отражатель не нужен, а благодаря небольшой длине перепускного канала уменьшаются потери на трение и облегчается циркуляция шариков.

В общем случае шарико-винтовая пара не должна иметь больше 3–4 рабочих витков, так как последующие витки практически на нагрузку уже не воспринимают, а лишь увеличивают трение, размер гайки и т. п. Иногда рабочие витки конструируют так, что замкнутых цепочек бывает

две и даже три. Соответственно увеличивается число каналов перепуска (рис. 3,а).

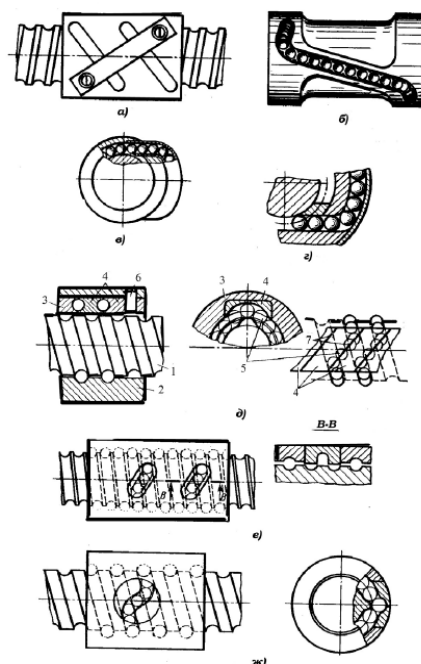


Рис.3. Рециркуляция шариков в теле гайки

Увеличение количества замкнутых цепочек у одной гайки повышает надежность механизма, так как в случае выхода из строя одного канала работоспособность механизма может сохраниться.

Если необходимо обеспечить максимальную долговечность передачи, то число витков можно увеличить до шести, что повышает усталостную прочность.

С целью уменьшения радиальных размеров и упрощения конструкции иногда используют передачи без обводного канала и без замкнутой цепочки шариков. Прежде всего, это относится к передачам с малым ходом и высокой плавностью движения. В этом случае удлиняют гайку настолько, чтобы в крайних положениях шарики не выпадали. При конструировании такой передачи по концам гайки следует ставить ограничители, предотвращающие выпадение шариков.

Основными достоинствами шарико-винтовых передач является:

- малые потери на трение;
- высокая нагрузочная способность при малых габаритах;
- размерное поступательное перемещение с высокой точностью;
- высокое быстродействие;
- плавный и бесшумный ход.

К недостаткам можно отнести:

- сложность конструкции гайки;

- ограничение по длине винта (из-за накапливаемой погрешности);

- ограничение по скорости вращения винта (из-за вибрации);

- высокую стоимость (исполнения с шлифованным винтом).

Шарики-винтовые передачи применяют в исполнительных механизмах, в следящих системах и в ответственных силовых передачах (станкостроение, робототехника, авиационная и космическая техника, атомная энергетика и др.).

Благодаря компактным размерам и простоте конструкции ШПВ могут быть легко интегрированы в различные машины и механизмы, в том числе с гидравлическим и пневмоприводом.

Одно из самых перспективных сегодня направлений использования ШВП – создание и использование на их основе готовых мехатронных узлов перемещения (линейных модулей). Такие узлы, или модули, могут включать в свой состав, помимо ШВП, алюминиевый или стальной профиль (в качестве внутренней несущей рамы или несущего корпуса), приводной электродвигатель, контрольно-измерительные приборы и элементы управления.

#### **Список информационных источников**

1. Волновые и винтовые механизмы и передачи: учебное пособие / В.С. Янгуюлов; ТПУ. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 174 с.
2. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами / А.Е. Беляев; ТПУ. Томск: Изд-во ТПУ, 1992. 231 с.
3. <http://technomag.edu.ru/doc/147434.html>
4. <http://www.inovacii.ru/285.html>

## **ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С МУЛЬТИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЧАСТИЦ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ**

*Маков Д.А.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

В настоящее время для увеличения износостойкости рабочих поверхностей деталей машин, как при их изготовлении, так и в процессе ремонта, в качестве наплавляемых порошковых смесей применяют твердые и сверхтвердые композиционные материалы, такие, как релит, сормайт, стеллит. Данные покрытия имеют ряд недостатков: хрупкость,

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Гнусов С.Ф., д.т.н., профессор кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ

неравномерность распределения частиц упрочняющей фазы по объему наплавленного слоя, склонность к трещинообразованию. Это не позволяет применять их в условиях характеризующихся многофакторным воздействием.

Перечисленные выше обстоятельства требуют кардинально иного подхода к формированию упрочненных слоев. Одним из возможных путей решения данной проблемы мог бы быть способ применения наплавочного материала, в котором карбидные частицы имеют разную способность к растворению в жидкометаллической ванне и к карбидообразованию. Структура, сформированная таким способом, будет состоять из исходных карбидных частиц, частиц выделившихся при кристаллизации и мелкодисперсных частиц, расположенных в объеме зерна. При этом каждому типу твердых частиц присущ свой масштабный фактор (мульти-modalность в распределении частиц твердой фазы по размерам), что будет способствовать повышению общего уровня износостойкости.

Для композитов на металлической основе, в качестве твердой фазы, эффективно себя зарекомендовали карбиды титана и вольфрама обладающие высокими эксплуатационными свойствами.

В качестве основы необходимо использовать аустенитные стали. Во-первых, из-за своей вязкости они хорошо удерживают карбидные частицы. Во-вторых, в аустените может растворяться значительное количество легирующих элементов, а дальнейшая термическая обработка позволит им выделиться в виде дисперсных твердых фаз.

В качестве метода формирования упрочненного слоя наиболее подходит электронно-лучевая технология наплавки в вакууме. Она позволяет организовать микрометаллургический процесс с минимальным воздействием на подложку. Значительный перегрев сварочной ванны будет способствовать растворению твердых частиц, а минимальное время ее существования - сформировать пересыщенный твердый раствор легирующих элементов в аустените.

### **Материалы и методы исследования**

Нанесение покрытий осуществляли с помощью электронно-лучевой наплавки в вакууме [1] в качестве материалов использовали композиционные порошки на основе марганцовистого аустенита (вес. %): 20 - Mn, 0,9 - C, 4 - Mo, 4 - V, 15 - WC, Fe - остальное. Наплавку проводили на пластину из Стали 20 толщиной 30 мм. Термическую обработку наплавленных образцов, старение, проводили при температуре 600 °C в течение одного часа с последующим охлаждением на спокойном воздухе.

Структуру композиционных покрытий исследовали с помощью оптического микроскопа «Olympus GX 51». Количественные характеристики микроструктуры определяли линейным и точечным методом. Рентгеноструктурный анализ осуществляли с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-УМ1 с фильтрованным  $\text{CuK}\alpha$  излучением. Микротвердость по толщине наплавки измеряли на поперечных шлифах на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 0,981 Н.

Абразивную износостойкость определяли при износе о не жесткозакрепленные абразивные частицы (ГОСТ 23.208-79).

### Результаты и их обсуждение

На основе анализа микроструктуры и данных рентгеноструктурного исследования матрица в покрытиях представлена  $\gamma$ -фазой, а упрочняющие частицы карбидами  $\text{M}_6\text{C}$  и  $\text{VC}$  (рис. 1,а).

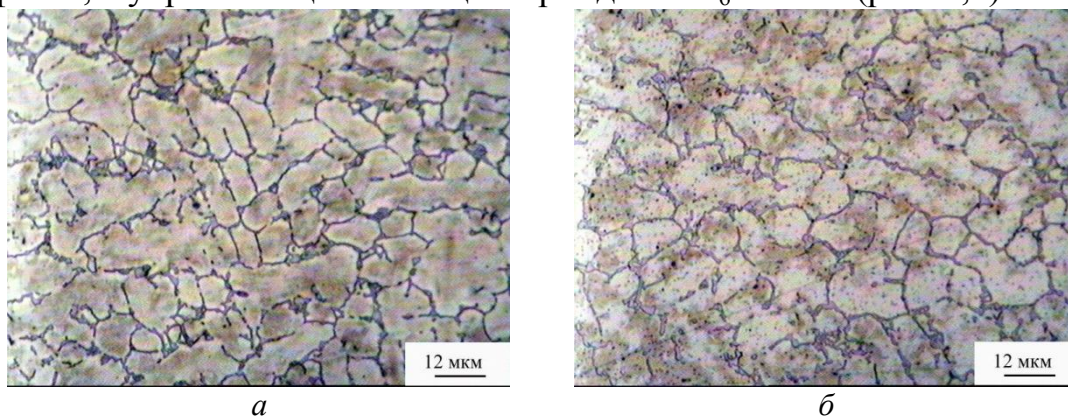


Рис. 1. Микроструктура покрытий после наплавки (а) и старения (б)

Карбиды в основном расположены по границам зерен в виде сетки и частично внутри зерен в виде отдельных мелких включений размером меньше 0,5 мкм.

Старение покрытий приводит к выделению дисперсных равноосных частиц типа  $\text{M}_6\text{C}$ , которое происходит как по границам зерен, так и в самом зерне (рис. 1,б). Это вызывает появление мультимодального распределения частиц твердой фазы по размерам (рис. 2).

Данные структурные превращения в процессе термической обработки приводят к изменению характера распределения микротвердости в наплавленном слое (рис. 3).

Непосредственно после наплавки распределение микротвердости в наплавленных образцах носит неравномерный характер. Это связано с неравномерным распределением карбидных частиц по объему зерна в наплавленном слое. При старении за счет процесса дополнительного

выделения дисперсных карбидов по всему объему зерна происходит сглаживание этой неравномерности. Это способствует как уменьшению разброса значений микротвердости по толщине упрочненного слоя, так и увеличению ее среднего значения от 4,5 ГПа до 5,9 ГПа.

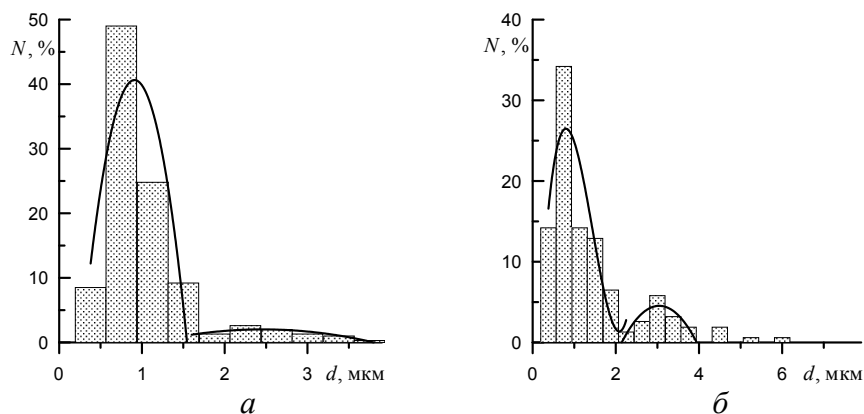


Рис. 2. Распределение частиц карбидов по размерам после наплавки (а) и старения (б)

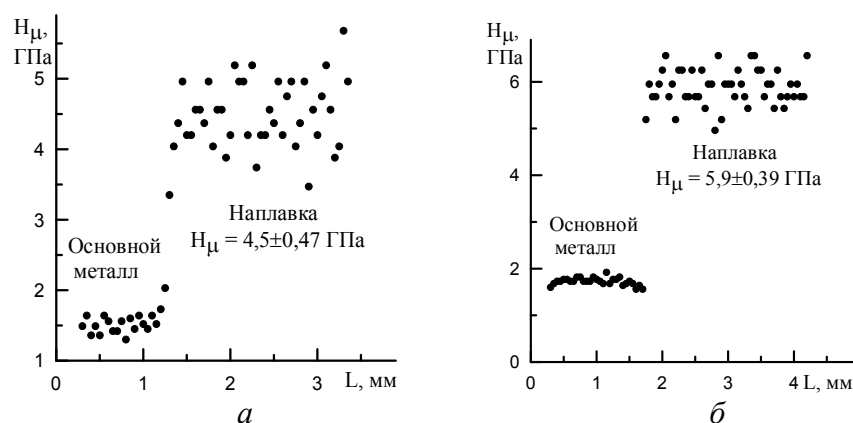


Рис. 3. Распределение микротвердости композиционных покрытий после наплавки (а) и старения (б)

Данный эффект положительно сказывается на повышение износостойкости наплавленного слоя (рис. 4).

## Выводы

1. Установлено что в процессе наплавки и последующего старения (600 °С, время выдержки 1ч) в покрытиях формируется равномерное мультимодальное распределение карбидной фазы по размерам в объеме упрочненного слоя.

2. Показано, что мультимодальное распределение частиц твердой фазы по размерам приводит к выравниванию и увеличению среднего значения микротвердости по толщине наплавки и как следствие увеличению износостойкости.



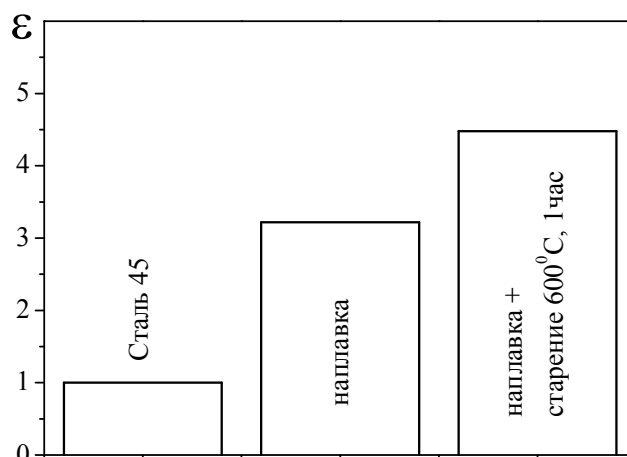


Рис. 4. Значение величины относительной износостойкости исследуемых образцов после наплавки и термической обработки

### Список информационных источников

1. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство. – 2000. – № 2. – С. 34–38.

## МАКРОАНАЛИЗ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКА ПР-Х18ФНМ

*Мархаева А.Р.<sup>1</sup>, Дегтерёв А.С.*

*Томский политехнический университет*

Целью настоящей работы является изучение влияния таких технологических параметров, как расход присадочного порошка, полярность тока и его величина на макростроение формируемых покрытий системы Fe-Cr-V-Mo-C.

В качестве наплавочного материала в работе использовался промышленный порошок ПР-Х18ФНМ, фракцией от 120 до 200 мкм, следующего химического состава (мас. %): 2,1...2,4 С, 17...19 Cr, 2...3 Ni, 7...8 V, 2...2,6 Mo, Fe – основа. В качестве основного материала использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм.

Покрyтия наносили на установке плазменной порошковой наплавки УПН-303УХЛ4 с водоохлаждаемым плазмотроном. Наплавку

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ

осуществляли токами прямой полярности от 160 до 260 А, и обратной полярности от 160 до 220 А, со скоростью 6 м/ч при расходе порошка от 1,1 до 2,2 кг/ч. Анализ геометрических размеров валиков проводили на длине 50 мм в зоне установившегося режима на четырех поперечных макрошлифах. Оценивали ширину, высоту упрочняющего слоя, площадь наплавленного металла, площадь проплавления основного металла, долю участия основного металла в наплавленном покрытии. Для видеосъемки процесса наплавки использовали высокоскоростную камеру VS-FAST со светофильтром ЖЗС-9. Скорость съемки - 250 кадров/сек, время съемки - 10 с.

При наплавке током обратной полярности холодным катодом является ванна расплава, имеющая химический состав и свойства подаваемого в зону наплавки присадочного материала. При горении такой дуги на поверхности упрочняемой детали наблюдается беспорядочное быстрое перемещение весьма малых ячеек катодных пятен, размер которых  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  см [1]. Ячейки характеризуются значительной плотностью тока через них проходящего, и являются микроисточниками тепла [1, 2]. Перемещаясь по поверхности детали, они захватывают большую в 2...3 раза ее площадь, чем столб плазмы (рис. 1, а). Это способствует интенсивному разогреву поверхности упрочняемой детали, и малому ее проплавлению. Хаотичное передвижение катодных пятен и их склонность к кратковременной фиксации на поверхности детали затрудняет процесс формирования ровных гладких по краям валиков.

При наплавке на прямой полярности, когда катод располагается на медном водоохлаждаемом неплавящемся электроде с вольфрамовой вставкой, столб плазмы имеет цилиндрическую форму и незначительно деформируется (на 10...20 % расширяется) лишь вблизи упрочняемой поверхности. Анодное пятно малоподвижно и не выходит за пределы площади под столбом плазмы. Потому наплавленные по данной технологии упрочняющие слои характеризуются малой (менее 0,4 мм) чешуйчатостью и постоянством геометрических размеров. Разброс значений ширины по длине валиков не превышает 0,6 мм.



Рис. 1- Снимки процесса наплавки током обратной (а) и прямой (б) полярностей: А – столб плазмы; В – катодные пятна; С – область анодного пятна

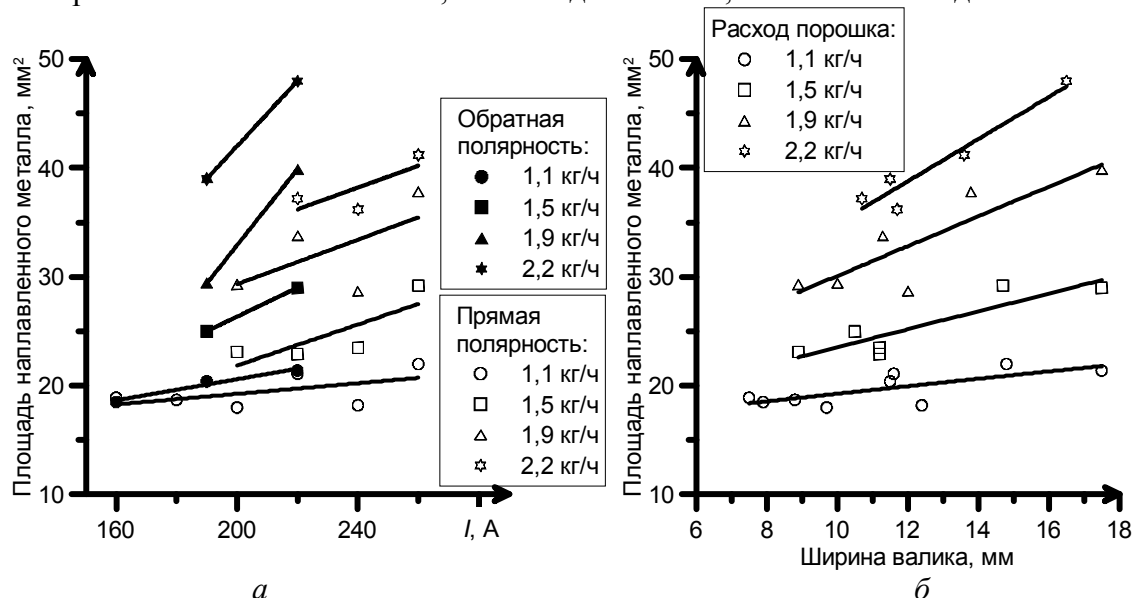


Рис.2. Зависимости площади наплавленного металла от тока (а) и ширины (б) формируемых валиков

Как в случае наплавки током прямой, так и обратной полярности регулирование параметров режима (тока и расхода присадочного порошка) приводит к изменению макростроения покрытий. Увеличение тока наплавки прямой полярности от 160 до 260 А и обратной полярности от 160 до 220 А при постоянном расходе порошка способствует увеличению площади наплавленного металла (рис. 2, а). В то же время площадь наплавленного металла возрастает с увеличением ширины формируемых покрытий, что легко объяснить уменьшением потерь присадочного материала (рис. 2, б). Из приведенных графиков также следует, что увеличение расхода порошка в диапазоне 1,1...2,2 кг/ч приводит к плавному возрастанию площади наплавленного металла. При нанесении покрытий током обратной полярности площадь

наплавки несколько выше, чем при тех же значениях тока прямой полярности.

Изменение расхода присадочного порошка слабо влияет на ширину формируемых упрочняющих слоев. Площадь наплавленного металла возрастает с увеличением скорости подачи присадочного материала в основном за счет увеличения высоты покрытий (рис. 3) и углов смачивания.

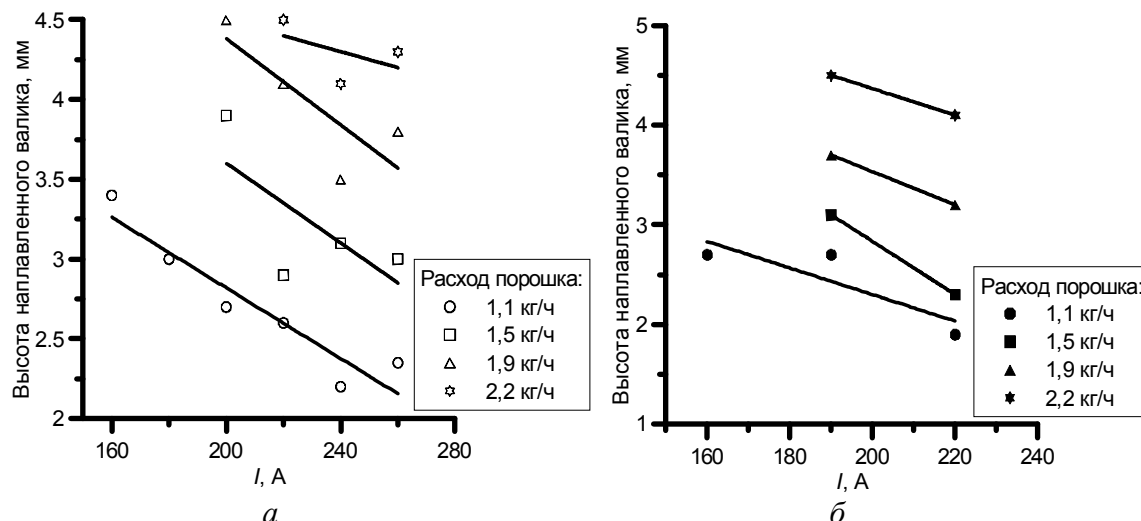


Рис. 3. Высота наплавленного валика током прямой (а) и обратной (б) полярностей

Увеличение тока наплавки приводит к росту ширины валиков от 7,5 до 18 мм и уменьшению их высоты (рис. 3). Высота полученных покрытий в зависимости от тока и расхода порошка изменяется в пределах от 2 до 4,5 мм.

При наплавке токами прямой полярности от 160 до 260 А при постоянном расходе порошка в 1,1 кг/ч фиксируется изменение доли участия основного металла в наплавленном покрытии от 4 до 35%. В случае наплавки токами 160 ...220 А обратной полярности, при минимальном расходе присадки доля составляет максимум 23 % (рис. 4). С увеличением расхода порошка доля участия основного металла в наплавленном металле снижается.

### Выводы

1. Технология плазменной наплавки порошка током обратной полярности, в сравнении с технологией наплавки током прямой полярности, более производительна, обеспечивает более полный переход присадочного порошка в ванну расплава и меньшую долю участия основного металла в наплавленном. Также она отличается меньшей стабильностью и большей чувствительностью к составу и свойствам присадочного материала.

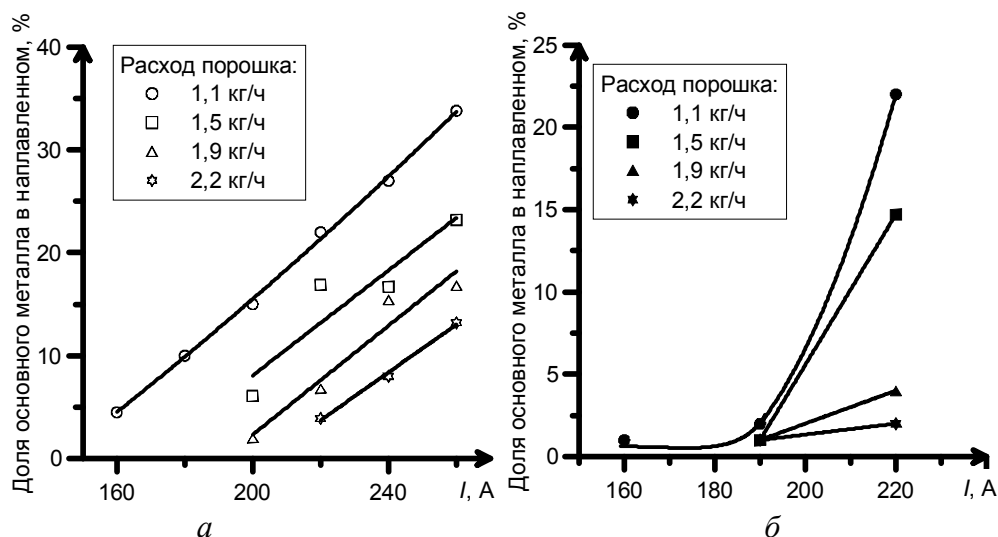


Рис. 4. Доля основного металла в наплавленном покрытии в зависимости от тока наплавки прямой (а) и обратной (б) полярностей

2. Регулируя силу тока в интервале от 160 до 260 А, расход присадочного порошка ПР-Х18ФНМ от 1,1 до 2,2 кг/ч возможно получать покрытия шириной от 7,5 до 18 мм, высотой от 2 до 4,5 мм, при доле участия основного металла в наплавленном от 2 до 35 %.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ № 8.3664.2011.*

#### Список информационных источников

1. Волченко В.Н., Ямпольский В.М., Винокуров В.А. и др. Под ред. Фролова В.В. Теория сварочных процессов— М.: Высшая школа, 1988. —559 с.
2. Коновалов А.В., Куркин А.С., Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф.; Под редакцией Неровного В.М. Теория сварочных процессов— М.: Изд-во МГТУ им Баумана Н.Э., 2007. —752 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

*Мельник С.С.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Сегодня информационно-измерительные системы (ИИС), как и большинство других производственных систем, строятся на базе компьютеров (терминалов) под управлением операционной системы (ОС) Microsoft Windows. Стоимость такого терминала составляет около 30 тыс. руб. (из них треть – за операционную систему).

Стоимость терминала можно значительно снизить за счет использования ОС Android вместо Windows. Android – это бесплатная операционная система от компании Google, построенная на ядре ОС Linux. Ввиду ресурсоэффективной работы ядра, требования ОС Android к аппаратному обеспечению относительно низки. Для нормального функционирования системы Android 4 достаточно процессора мощностью 600 МГц и 256 МБ оперативной памяти. Таким образом, для терминала будет достаточно планшетного компьютера стоимостью 3-4 тыс. рублей. Для обеспечения работы ИИС на Android-терминале имеется все необходимое.

Устройства на базе Android, как правило, уже содержат элементы, которые можно использовать как измерительные преобразователи. Например, встроенный гироскоп – это готовый датчик вибрации, угла поворота и ускорения, а большие скорость, высоту, расстояние и другие величины можно определять на основании данных, полученных GPS-приемником.

Датчики и другие элементы ИИС можно подключить по USB-интерфейсу. Если устройство и измерительный преобразователь не могут быть соединены проводом, то связь можно осуществлять по беспроводным каналам Bluetooth и Wi-Fi. В измерительных системах можно использовать и другие входы и выходы Android-устройств. К примеру, с помощью аудио-входа можно принимать аналоговые сигналы со спектром от 20 Гц до 20 кГц, а видеокамеру – для получения, распознавания и дальнейшей обработки изображений.

Android имеет встроенную СУБД SQLite, с помощью которой удобно хранить и обрабатывать результаты измерений [1]. Кроме того, есть необходимые инструменты и для проектирования приборов – мат.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Милеев Д.В., к.т.н., доцент кафедры информационно-измерительной техники ИНК ТПУ

пакеты, САПРы, среды программирования, симуляторы эл. цепей и др. [2].

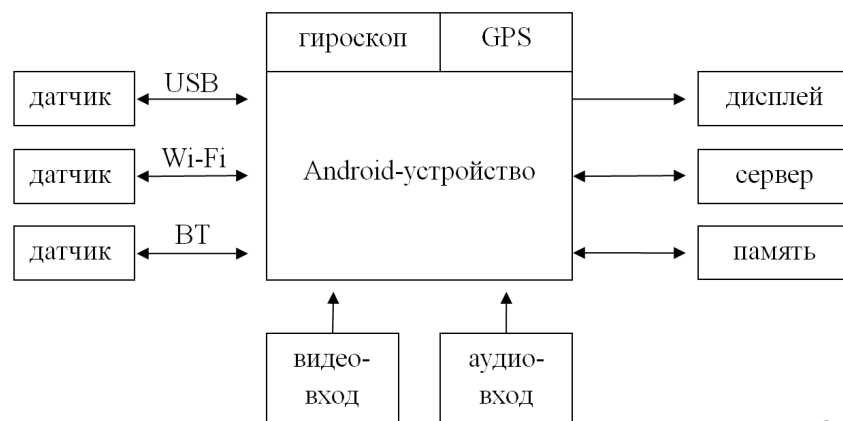


Рис. 1. Пример схемы сложной информационно-измерительной системы, построенной на Android-терминале

Таким образом, нет ничего такого, что могло бы ограничить использование Android в информационно-измерительной технике, а с материальной точки зрения такие устройства будут иметь несомненное преимущество по сравнению с используемыми сегодня средствами на платформе ОС Windows. На сентябрь 2012 года зарегистрировано более полумиллиарда устройств, на которых установлена ОС Android, и их число постоянно растет [3]. Это ноутбуки, планшетные компьютеры, смартфоны, навигаторы и даже наручные часы, а в будущем Android может занять свое место и в нише информационно-измерительной техники. В настоящее время нами разрабатывается программное обеспечение обработки различных измерительных сигналов для мобильных устройств.

#### Список информационных источников

1. Голощапов А.Л. Google Android. Программирование для мобильных устройств. – Спб.: БХВ, 2011. – 448 с.
2. Приложения на GooglePlay [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://play.google.com>. 24.09.2012
3. Вести.Ru: Армия «андроидов» выросла до полумиллиарда [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=904932>. 24.09.2012

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РЕГИСТРАТОР ПРОХОЖДЕНИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ ОБЪЕКТОВ СПРМ-1**

***Мозырин Д.А.***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Эффективность и надежность работы магистральных нефтегазовых трубопроводов связана с периодической очисткой и диагностированием технического состояния внутренней полости трубопровода в процессе эксплуатации. Пропуск очистных устройств, поршней и автономных приборов диагностики является ответственным техническим мероприятием, проведение которого приводит к необходимости контроля за прохождением данных внутритрубных объектов.

В настоящее время на рынке приборов контроля прохождения внутритрубных объектов (ВТО) появился новый прибор СПРМ-1 фирмы ООО «Фонон». Этот прибор выгодно отличается от своих предшественников ДПС-7В, МДПС-3, СПРА-4. Принцип действия нового прибора магнитный. В момент прохождения по трубопроводу объекта со стальными элементами, датчик прибора регистрирует изменение магнитного поля в зоне трубопровода и обеспечивает подачу сигнала в линию связи с аппаратурой линейной телемеханики и его сохранение до подачи сигнала «Сброс» (или автоматический сброс через 1 мин.), а также световую индикацию на панели блока питания и реле. Прибор позволяет регистрировать ВТО при скорости потока от 0,2 до 6 м/сек (от 0,72 до 21,6 км/час), при различных условиях технологического процесса. Новый сигнализатор регистрирует ВТО, снабженные трансмиттером (генератором переменного электромагнитного поля частотой  $22 \pm 1$  Гц), при этом дополнительно в телемеханику передается соответствующий сигнал и обеспечивается световая индикация на панели блока прибора.

К несомненным достоинствам прибора следует отнести широкий температурный диапазон работы прибора от  $-60$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , небольшие габариты датчика и его влагозащищенное исполнение. Для работы на низких температурах датчик снабжен электрическим подогревом схемы, что обеспечивает его работоспособность в зонах с температурой окружающей среды до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Датчик сигнализатора монтируется на стенку трубы при помощи двух магнитных прижимов, без нарушения целостности изоляции, даже если она будет битумной. Длина магнитного датчика составляет 396 мм, что существенно упрощает монтаж датчика, а влагонепроницаемое исполнение позволяет



устанавливать его на подтапливаемых участках. При этом в процессе эксплуатации датчик не требует технического обслуживания, в отличие, например, от акустических сигнализаторов, для которых периодически необходимо проверять качество акустического контакта. Схемы магнитного датчика и блока питания защищены от перенапряжения на случай грозы специальными схемами. В приборе реализован непрерывный самоконтроль исправности входящих в его состав блоков, и в случае появления неисправности информация об этом передается в телемеханику и на панель прибора.

Прибор прошел годовые эксплуатационные испытания на магистральных нефтепроводах ОАО «Транссибнефть» и ОАО «Центрсибнефтепровод» и подтвердил свои паспортные характеристики.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОНТАКТА АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА НА УДАРНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ**

*Мормоев А.Е.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Существенное влияние на прочностные характеристики железобетонного сооружения оказывает качество контакта арматуры с бетоном, особенно при эксплуатации в условиях значительных растягивающих напряжений. Поэтому для решения проблем повышения надежности возводимых железобетонных сооружений и их дальнейшей безаварийной эксплуатации необходимо осуществлять входной и текущий контроль качества контакта арматуры с бетоном. Надежных методов контроля качества арматуры с бетоном в железобетонных конструкциях не существует. Для решения этой задачи может быть использовано явление механоэлектрических преобразований при импульсном механическом возбуждении диэлектрических материалов. Проведенные ранее исследования по связи параметров электрического сигнала, возникающего при ударном возбуждении строительных материалов с их структурными и механическими характеристиками [1-4] свидетельствуют о перспективности использования явления

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Фурса Т.В., д.т.н., в.н.с. проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников ИНК ТПУ

механоэлектрических преобразований для разработки неразрушающего метода контроля качества контакта арматуры с бетоном в железобетоне.

Исследования выполнены с помощью лабораторного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение материалов и регистрацию электрического сигнала. Импульсное механическое возбуждение образцов производится с помощью электромеханического ударного устройства с нормированной силой удара. Для регистрации электрической составляющей переменного электромагнитного поля, возникающего при импульсном механическом возбуждении образцов, используется дифференциальный электрический датчик. Сигналы с электрического датчика регистрируются с помощью многофункциональной платы ввода-вывода «NIPCI-6251», совмещенной с ЭВМ, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала.

Для проведения исследований были изготовлены лабораторные модели железобетона. Модели представляли собой образцы тяжелого бетона размером 100x100x100 мм, в которые при формовании было помещено по одному металлическому прутку. Была изготовлено 6 идентичных образцов. После окончания процесса твердения образцы были замочены в солевом растворе. Затем 2 образца были высушены и хранились в комнатных условиях, а оставшиеся 4 образца подвергались циклическому замораживанию-оттаиванию. Было проведено 4, 8, 12 и 16 циклов. Замораживание производилось в условиях климатической камеры при температуре минус 15<sup>0</sup>, а оттаивание в универсальной камере при температуре (20±5)<sup>0</sup>С и влажности 95 %.

Металлический прут в условиях циклического замораживания-оттаивания ржавеет, и образуются продукты коррозии металла. По объему они превышают начальный объем прутка, что приводит к возникновению и росту внутренних напряжений, а в дальнейшем – растрескиванию бетона. Поэтому процессы трещинообразования наиболее интенсивно должны протекать на границе бетона и металла. Так как замачивание моделей производилось в солевом растворе, то процессы ржавления протекают очень интенсивно. Визуально это хорошо отслеживается на выступающем конце прутка.

На рис. 1 приведены электрические отклики из образцов, прошедших различное количество циклов замораживания-оттаивания.

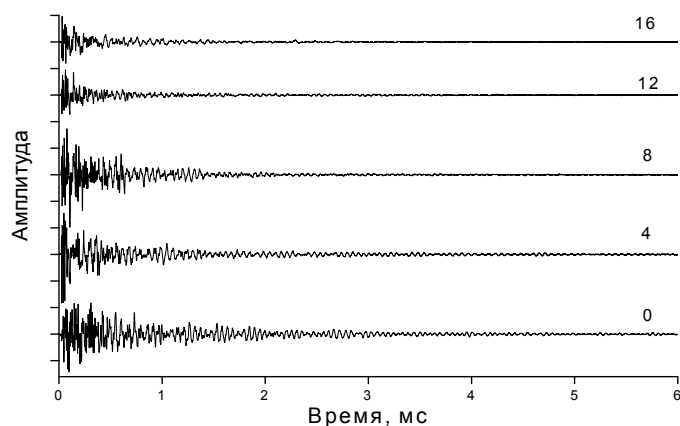


Рис. 1. Электрические отклики из моделей железобетона после различного количества циклов замораживания-оттаивания. (Цифрами обозначено количество циклов)

Как видно из рис. 1 увеличение циклов замораживания-оттаивания приводит к уменьшению, как величины, так и длительности сигнала. Возрастание степени затухания электрического отклика свидетельствует о повышении дефектности материала.

С увеличением циклов замораживания-оттаивания наблюдается также постепенная трансформация амплитудно-частотных характеристик.

После проведения циклических знакопеременных температурных воздействий, даже после 16 циклов на поверхности образцов нет видимых трещин. Отсутствие поверхностных трещин свидетельствует о том, что изменение спектрального состава электрических сигналов в процессе замораживания-оттаивания связано с внутренними структурными нарушениями, в том числе и нарушением контакта металлического прутка с бетоном.

На рис. 2 приведены спектры электрических сигналов, зарегистрированные из образцов, прошедших различное количество циклов замораживания-оттаивания.

Из рис. видно, что циклическое замораживание-оттаивание моделей железобетона приводит к изменению соотношения спектральных максимумов и смещению центра тяжести спектра в низкочастотную область. Аналогичная трансформация спектрального состава электрических откликов наблюдается в моделях после процедуры механического нарушения контакта арматуры с бетоном.

Проведенные исследования показывают, что параметры электрического отклика на ударное возбуждение чувствительны к изменению качества контакта металла с бетоном и могут быть

использованы для разработки неразрушающего контроля армированных материалов.

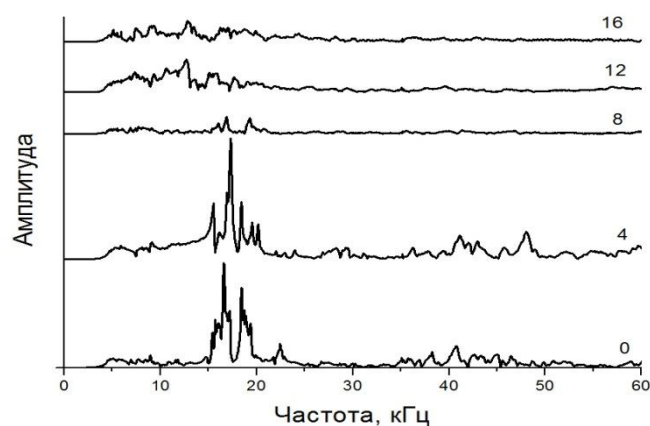


Рис.2. Амплитудно-частотные характеристики электрических откликов из моделей железобетона, прошедших различное количество циклов знакопеременного воздействия

*Работа выполнена в рамках Государственного задания «Наука» (№ 7.1826.2011).*

#### **Список информационных источников**

1. Суржиков А.П., Фурса Т.В. Механоэлектрические преобразования при упругом ударном возбуждении композиционных диэлектрических материалов. // ЖТФ, 2008, т. 78, № 4, с. 71-76.
2. Фурса Т.В., Осипов К.Ю. Механоэлектрические преобразования в композиционных диэлектрических материалах при комплексном термомеханическом возбуждении. // Дефектоскопия, 2003, №10, с. 33-37.
3. Фурса Т.В., Осипов К.Ю. Исследование механоэлектрических преобразований в цементно-песчаных образцах в процессе циклического знакопеременного температурного воздействия. // Письма в ЖТФ, 2009, т.35, вып. 19, с.61-68.
4. Фурса Т.В. Исследование механоэлектрических преобразований в образцах цементного раствора в процессе трещинообразования, вызванного циклическим замораживанием-оттаиванием. // Письма в ЖТФ, 2010, т. 36, вып.8, с.1-6.

# ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОЙ НАГРУЗКИ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ДИЭЛЕКТРИКА

*Наманжуев Э.Д.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Актуальной задачей неразрушающего контроля материалов была и остается задача контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) большого числа конструкций из диэлектрических материалов на ранних стадиях образования и накопления опасных для контролируемых объектов нарушений. Для этой цели применяются, в основном, акустические неразрушающие методы контроля [1].

В настоящем исследовании напряженно-деформированное состояние диэлектрических материалов производилось методом неразрушающего контроля, разрабатываемом в Томском политехническом университете и основанном на явлении механоэлектрических преобразований [2]. Суть метода и схема эксперимента изложены в работе [3]. Образец из эпоксидной смолы размером  $100 \times 80 \times 60 \text{ мм}^3$  с наполнителем, содержащим кварцевый песок, помещали между пуансонами пресса: нижним подвижным и верхним неподвижным. Основанием служила грань  $60 \times 80 \text{ мм}^2$ . К торцевой грани  $100 \times 60 \text{ мм}^2$  прижималось ударное устройство на основе пьезопреобразователя. На пьезопреобразователь подавалась серия электрических импульсов с заданными длительностью, амплитудой, формой и частотой следования. Длительность импульсов варьировалась от  $7 \cdot 10^{-6}$  с до  $3,5 \cdot 10^{-5}$  с, форма импульсов колоколообразная, частота следования изменялась от 12 Гц до 13000 Гц. Симметрично у граней  $100 \times 80 \text{ мм}^2$  располагались пластины с емкостными датчиками, сигналы с которых поступали на входы дифференциальных усилителей. С целью коррекции частотной избирательности емкостные датчики изготавливались в виде полос размером  $2 \times 9 \text{ мм}^2$ , расположенных вертикально. Для исключения влияния соседних датчиков на измерения каждый датчик окружался охранным заземленным кольцом.

В ходе эксперимента с использованием мультисенсорной системы измерений [4] фиксировались инициированные акустическими импульсами временные реализации механоэлектрического отклика образцов, находящихся под действием одноосных статических

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Суржиков А.П., профессор, д.ф.-м.н., зав. кафедрой кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

нагрузок сжатия. Каждая временная реализация есть результат усреднения по ста откликам.

Типичные отклики представлены на рис.1., где видно, что характер колебаний в образце при всех используемых нагрузках мало отличается друг от друга и за 600 микросекунд колебания практически затухают. Т.е. в данном случае в таком виде временные реализации мало информативны при контроле напряженно-деформированного состояния. Более чувствительными к изменению НДС являются амплитудно–частотные характеристики, которые рассчитываются через быстрое преобразование Фурье (БПФ). Выяснено, что изменение нагрузок приводит к существенному перераспределению в амплитудно–частотной зависимости в области частот 50 -85 кГц.

Дальнейшая обработка экспериментальных данных заключалась в определении разности между временными реализациями: при каждом значении прикладываемой нагрузки и исходной. За исходную принималась временная реализация при минимальной нагрузке 0,5 МПа. Затем производились БПФ и интегрирование для частотного диапазона 50 – 85 кГц.

Зависимость значений интегральной интенсивности от действующих нагрузок показана на рис.2. Подобные зависимости характерны для всех датчиков, изменяются лишь углы наклона к осям координат. Эта особенность объясняется неравномерным распределением создаваемых нагрузок по сечению образца. Такое объяснение подтверждается косвенным методом: между образцом и пуансоном пресса помещались в качестве акустической развязки войлочные прокладки, которые изменяли свою толщину под действием нагрузки.

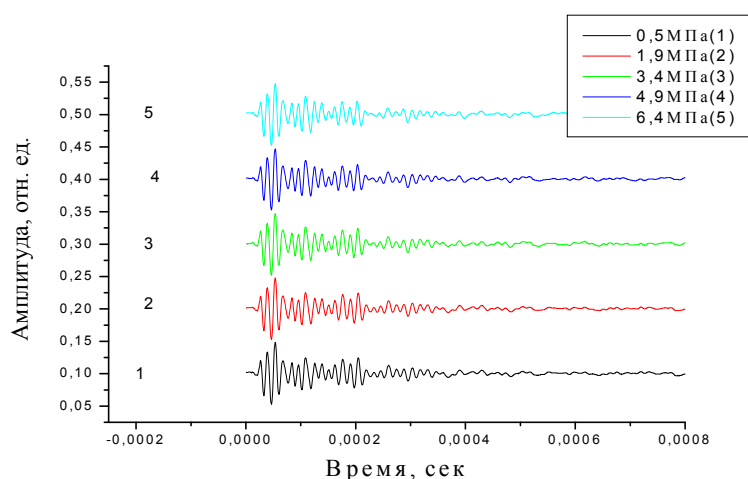


Рис.1. Временные реализации отклика при разных нагрузках для 2 датчика

В работе также проводились исследования влияния частоты следования акустических импульсов на амплитудно–частотные характеристики механоэлектрических откликов. На рис.3 представлены типичные зависимости, отражающие особенности данных характеристик, заключающиеся в периодическом появлении узких спектральных полос. При этом частотный интервал, через который возникают полосы, равен частоте следования зондирующих импульсов.

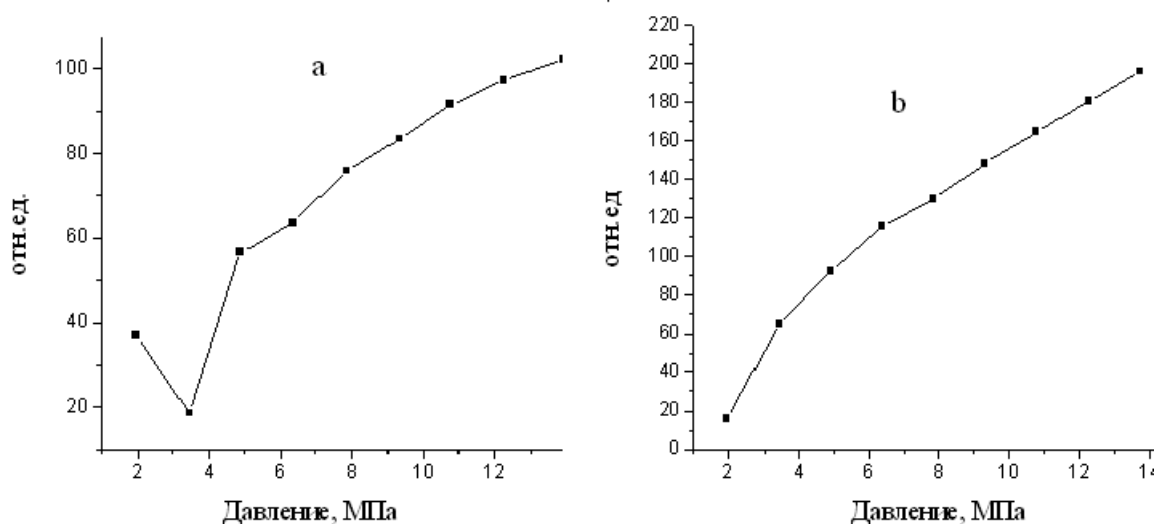


Рис.2. Зависимость интегральной интенсивности для интервала частот 50 – 85кГц от давления: а – датчик №5, б – датчик №2. Период следования импульсов  $3,3 \cdot 10^{-3}$  с.

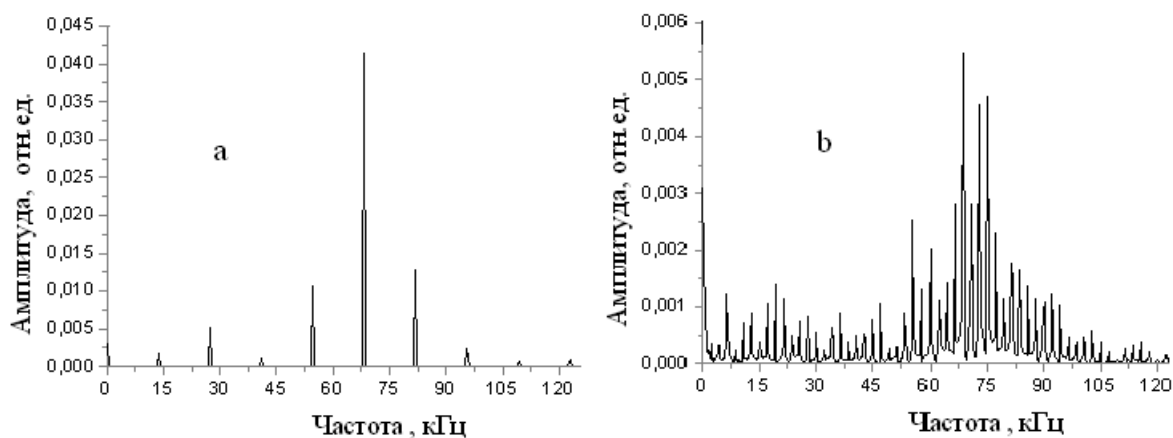


Рис.3. Амплитудно – частотные характеристики для а) 13,7кГц и б) 2,1кГц частотах следования акустических импульсов

Т.е. создание условий, когда последующий импульс накладывается на предыдущий, приводит к реализации механоэлектрического гребенчатого фильтра [5]. Зависимости

амплитуды пика на 68кГц от давления при этих условиях имеют ступенчатый вид.

#### **Список информационных источников**

1. Ботаки А.А., Ульянов В.Л., Шарко А.В. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов. - М.:Машиностроение,1983. – 80с.
2. Гордеев В. Ф., Малышков Ю.П. Электрофизики неоднородных диэлектриков: Материалы 6-й Всесоюзной конференции, ноябрь,1988. – ЦНИИ “Электроника”. М.,1988,с.32 – 33.
3. В.П. Суржиков, Н.Н. Хорсов. Влияние одноосной нагрузки на пространственно-временные характеристики электромагнитного отклика при акустоэлектрических преобразованиях в диэлектрических образцах. – Дефектоскопия, 2011, №10, с.50 – 54
4. Суржиков В.П., Хорсов Н.Н., Хорсов П.Н. Мультисенсорная система для исследования дефектности диэлектрических материалов. – Контроль. Диагностика ., 2011г., № 11, с.17 -20.
5. Филькенштейн М.И.. Гребенчатые фильтры. – М., Радио и связь, 1969.

### **ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УСИНСКОГО МАРГАНЦА**

***Нестеров С.Е.<sup>1</sup>***

*Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
«Средняя общеобразовательная школа № 2» г. Междуреченска  
Кемеровской области, г. Междуреченска*

О том, что в Кузбассе сосредоточено две трети всех запасов российского марганца, известно давно. Усинское месторождение расположено на территории муниципального образования Междуреченский городской округ, в верховьях реки Уса, притока реки Томь.

В 2005 году Федеральным агентством по недропользованию Российской Федерации была выдана лицензия ЗАО «ЧЕК-СУ. ВК» на освоение Усинского месторождения марганцевых руд, а также лицензия на право пользования недрами с целью разведки и добычи подземных вод для питьевого водоснабжения и технологического обеспечения водой Усинского комплекса сроком действия до 2025 года.

Проект, который подразумевает создание горно-

---

<sup>1</sup>Руководитель: Селезнева Н.Н., заведующая библиотекой МБОУ СОШ № 2, г. Междуреченска, Кемеровской области



металлургического комплекса по добыче и обогащению марганцевой руды и производству ферросплавов, не имеет аналогов в России. В нем будут задействованы сразу три региона. Кемеровская область даст сырье, Хакасия обеспечит его перегрузку на железнодорожный транспорт, а в Красноярском крае будет выплавляться конечная продукция - специальные добавки для черных металлов. Запуск проекта позволит обеспечить 30-40 процентов имеющейся сейчас на отечественном рынке потребности в ферросплавах. Выход комплекса на проектную мощность запланирован на 2015 год.

В проект заложено применение современных технологий, максимально снижающих воздействие на окружающую среду: обогащение марганцевой руды методом рентгенорадиометрической сепарации без применения химических реагентов: складирование хвостов обогащения в сухом виде, замкнутое водообращение, исключение попадания вредных примесей в реку Уса. Транспортировка концентрата в объеме 757 тысяч тонн в год будет осуществляться в закрытых тентах автомобилях, а мелкие фракции концентрата – в мешках на Перегрузочный терминал, расположенный в посёлке Туим республики Хакасия».

Однако не смотря на такие обещания перспектива разработки марганца в верховьях реки, которая затем впадает в р.Томь в черте города Междуреченск, вызвала протесты местных экологов. В городе развернулось целое движение против разработки Усинского марганца.

Марганец (Мп) - один из наиболее распространенных элементов земной коры. Он входит в состав почвы, осадочных и горных пород, природной воды и органики.

Наиболее важным коммерческим источником марганца является двуокись марганца, которая входит в состав осадочных отложений (пиролюзит). Обычно они разрабатываются открытым способом, который подразумевает буровзрывные работы. Это дополнительные выбросы в атмосферу мелких частиц породной и рудной пыли, а так же химических элементов применяемых взрывчатых веществ, которые переносятся ветром на далёкое расстояние, а затем оседают на растительность и попадают в воду. В виде пыли, многие минералы могут, попадая в организм накапливаться в нём, и при взаимодействии со слизистой оболочкой растворятся. Вдыхание пыли окислов марганца у человека вызывает особую форму пневмокониоза - манганокониоз.

При профессиональном контакте марганец попадает в человеческий организм, прежде всего через дыхательные пути. Двуокись марганца, как и другие его соединения, являющиеся летучими побочными продуктами переработки металла, практически

нерастворимы в воде. Мелкие частицы проникают в кровь, крупные же частицы, отторгнутые дыхательными путями, могут быть проглочены со слюной.

В результате токсического действия марганца, его окислов и солей, на существующих шахтах по добыче марганца говорят о трех стадиях тяжелейших заболеваний. Первая - поражает центральную нервную систему. Вторая - добавляет к первой токсическую энцефалопатию, движения рук теряют содружество, тремор пальцев и т.д. Третья - марганцевый паркинсонизм, т.е. маскообразность лица, затрудненная речь, петушиная походка, постоянное слюнотечение, поражение легких, печени и т.д.

Кроме непосредственно карьера по добыче руды предполагается построить вахтовый поселок для рабочих; для техники необходим склад ГСМ, ремонтная база; для добытого марганца какой-то временный склад; к месту разработки будут проложены дорога и линия ЛЭП протяженностью около 100 км. Поэтому пагубное влияние на окружающую природную среду не ограничивается местом разработки месторождения. Специалисты могут подтвердить, что проложенные дорога и линия ЛЭП пересекут пути миграции многих животных, в первую очередь копытных (косули, маралы), которые мигрируют осенью в Хакасию и весной возвращаются в Кемеровскую область. Само по себе строительство дороги и ЛЭП представляет сильнейшее разрушающее воздействие на природу. По проложенной дороге облегчится путь для браконьеров, которые на машинах смогут попадать в пока еще нетронутые места, в том числе и на территорию заповедника «Кузнецкий Алатау», охранный зона которого всего в 4 километрах от месторождения. Из повседневной жизни мы знаем, что там, где есть техника и ГСМ, обязательно случаются разливы нефтепродуктов, которые будут загрязнять почву, ручьи, реки. В связи с этим резко нарушится сложившийся за многие тысячелетия экологический баланс уникального уголка природы.

Таким образом, встает вопрос об обязательном выполнении единых правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом ЗАО «ЧЕК-СУ. ВК».

Также необходимо организовать:

1. Строительство технологически инновационных очистных сооружений, которые помогут снизить уровень вреда, наносимого экологии и здоровью людей.

2. Систематическую оценку и контроль воздействия на окружающую среду по выявлению характера, интенсивности и степени опасности влияния хозяйственной деятельности на состояние

окружающей среды и здоровье населения.

#### **Список информационных источников**

1. Алексеева Л.В. В пылу борьбы [Текст] //Кругозор в Кузбассе. - 2011. - 17-23 февр. - №6. - С.14
2. Бутакова Н.А. Открытый способ разработки недопустим [Текст] // Контакт. - 2009. - 30 апр. - №30. - С.5.
3. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. ПБ 03-498-02. [Электр. ресурс]-  
<http://www.docload.ru/Basesdoc/10/10977/index.htm>. 15.09.12.
4. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. правила охраны недр. ПБ 07-601-03.[Электронный ресурс] - режим доступа:  
[http://www.opengost.ru/iso/13\\_gosty\\_iso/13020\\_gost\\_iso/1302040\\_gost\\_iso/3150-pb-07-601-03-pravila-ohrany-nedr.html](http://www.opengost.ru/iso/13_gosty_iso/13020_gost_iso/1302040_gost_iso/3150-pb-07-601-03-pravila-ohrany-nedr.html). 15.09.12
5. Охрана окружающей среды. Энциклопедия.[Электронный ресурс]-<http://www.mining-enc.ru/o/oxrana-okruzhayuschej-sredy>.15.09.12

### **СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФТОРОМ**

***Новикова С.М.<sup>1</sup>***

*Омский государственный университет путей и сообщений*

В работе представлены экспериментальные результаты по изучению структуры и химического строения поверхности полимерных пленок, модифицированных путем обработки газообразным фтором. Методами электронной растровой микроскопии, ИК-спектроскопии МНПВО, оценки коэффициентов трения изучено влияние различных режимов фторирования пленок из ПЭ, ПП, ПЭТФ на изменение свойств их поверхности. Показано что модификация поверхности полимерных пленок проходит на нано-уровне и приводит к возрастанию барьерных свойств материалов по влаге и кислороду.

Известно, что печать на полимерных пленках требует или предварительного нанесения дополнительных слоев, так называемых праймеров, или модификацию поверхности путем ее обработки

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Баблюк Е.Б., д.т.н., с.н.с.

коронным разрядом. И в первую очередь, это связано с необходимостью повышения адгезионной прочности на границе «полимерная пленка – печатная краска» [1,2]. Т.е. модификация поверхности полимерных пленок это направление не является новым для полиграфии.

Однако в процессе создания новых упаковочных материалов, особенно для ряда пищевых продуктов, постоянно ужесточаются требования к барьерным свойствам полимерных пленок по влаге, кислороду, запахам.

В настоящее время повышение барьерных характеристик полимерных пленок, используемых в упаковке, достигается двумя способами: увеличением толщины упаковочного материала или нанесением дополнительных слоев, что также приводит к увеличению общей толщины пленок. Анализ научной литературы показал возможность применения различных видов модификации поверхности пленок на нано-уровне, приводящих к снижению проницаемости паров влаги, жиров, кислорода. Имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о снижении проницаемости различных эластомеров, поверхность которых была подвергнута такой модификации [3,4]. Представляло интерес получить экспериментальные данные о том, как повлияет такая модификация на структуру и свойства поверхности полимерных пленок, используемых в качестве упаковочных материалов.

#### Методика эксперимента

Модификацию поверхности полимерных пленок из полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ) проводили путем обработки газообразным фтором на специальной установке в различных режимах, с различной степенью интенсивности обработки [2]. Причем модификацию образцов пленки проводили как с одной, так и с двух сторон поверхности. Оценка статического и динамического коэффициентов трения осуществлялась на специальной установке,

Структурно-химические изменения, происходящие в поверхностном слое полимерных пленок, подвергнутых модификации, исследовали по анализу ИК-спектров многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО). Запись ИК спектров исследованных пленок осуществляли на ИК спектрофотометре с Фурье-преобразователем ФСМ-1201. Для записи ИК спектров поверхности использовали приставку МНПВО, изготовленную на основе кристалла ZnSe марка МНПВО36. При этом форма огранки кристалла а также соотношение геометрических размеров позволяло получать 36 отражений от поверхности исследуемых пленок. Расшифровку и

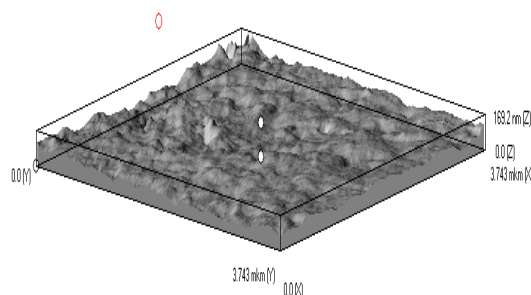
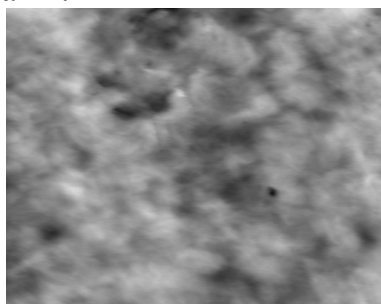
интерпретацию ИК-спектров проводили с использованием информации о спектрах органических веществ, приведенной в монографии Д.Брауна [5].

Микрогеометрию поверхностей полимерных пленок, исходных и модифицированных, изучали путем анализа топографии поверхности образцов, выполненных с использованием сканирующего атомно-силового микроскопа СММ-2000.

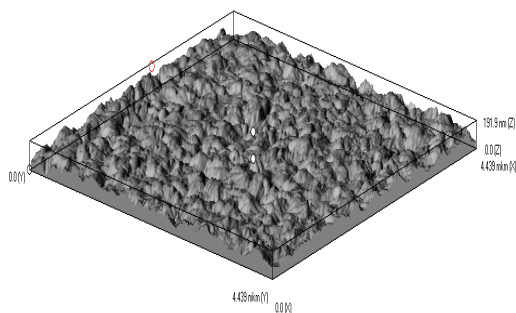
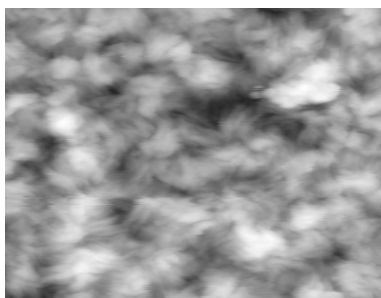
При сканировании исследуемых пленок определяются количественные характеристики поверхностей пленок, такие как:  $R_q$ ,  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$

#### Экспериментальные результаты

Измерения статического и динамического коэффициентов трения для пленок из ПЭНП, ПЭТФ и ПП показали что с увеличением интенсивности фторирования значения коэффициентов трения снижаются. Судя по результатам этого эксперимента можно предположить образование на поверхности полимера модифицированного слоя с более низкими трибологическими свойствами.



a)



б)

Рис. 1. 2D и 3D микрофотографии поверхности ПЭНП пленок при различных режимах обработки: а– исходная; б – фторированная 4 часа.

С использованием методов атомно-силовой микроскопии была исследована топология поверхности, как исходных полимерных пленок, так и пленок, подвергнутых модификации поверхности. Результаты этих исследований представлены на рис. 1.

Аналогичные микрофотографии были получены и для пленок из ПП и ПЭТФ.

Анализируя экспериментальные результаты, представленные на рис. 1 и можно констатировать, что модификация поверхности ПЭНП пленки путем ее фторирования приводит к разветвлению поверхности.

При записи ИК-спектров в режиме МНПВО мы должны были получить информацию об ожидаемых химических изменениях в поверхностном слое полимера, на который воздействовал газообразный фтор. Применение ИК-спектроскопии МНПВО позволяет оценивать структурные и химические изменения, затрагивающие поверхностные слои толщиной 1,0– 1,5 мкм.

Анализ ИК-спектров МНПВО позволил сделать вывод об образовании в слое толщиной до 1-2 мкм модифицированной поверхности групп, содержащих атомы фтора в полимерной цепи. Результаты исследований свидетельствуют о замене в поверхностном слое углеводородного на фторуглеводородный состав макромолекул.

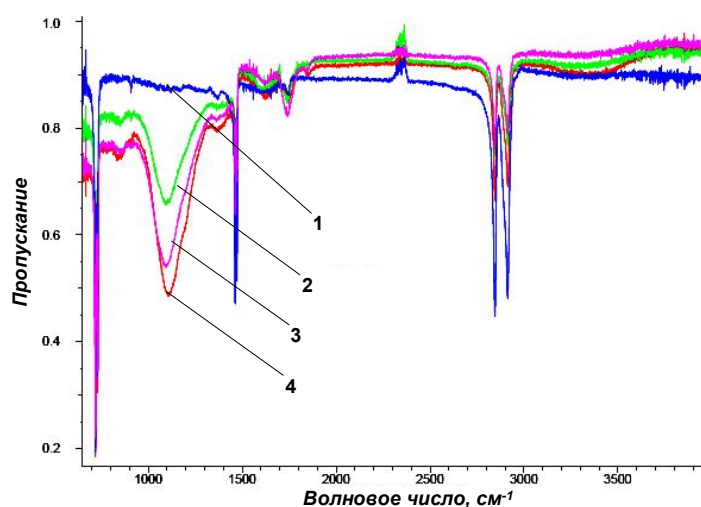


Рис. 2 .ИК-спектры МНПВО пленок из ПЭНП – №1- исходный, №2 фторированный 5 мин, № 3 – 30 мин., № 4 – 6 часов

### Список информационных источников

1. Баблюк Е.Б. Свойства полимерных пленок и особенности печати на них, Флексография, 2007, №7, с.48-50.
2. Назаров В.Г. Поверхностная модификация полимеров // Москва МГУП. 2009, 513 с.

3. Lagow R.J., Margrave J.L. A process for fluorinating organic compounds, using fluorine gas at low partial pressures. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. 1974. V.12. №3. P.177.
4. Nazarov V.G. Multiple surface structures in polyolefins formed by modification methods // J. Appl. Polym. Sci. 2005. V. 95. №4. p. 1198-1208.
5. Д.Браун, Г.Шердрон, В.Керн // Практическое руководство по синтезу и исследованию свойств полимеров, Москва, «Химия», 1976, 128 с.

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ШАХТАХ**

***Носов С.Ю.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Интенсификация производственных процессов добычи угля и концентрация горных работ сопровождаются ростом пылеобразования и пылевыведения в шахтную атмосферу. Следствием этих процессов является высокая вероятность возникновения аварийных ситуаций. Среди опасностей горного производства наиболее тяжелыми по последствиям по-прежнему остаются аварии, связанные с воспламенением метана и угольной пыли, которые в большинстве случаев носят характер катастроф.

Источниками пылеобразования в угольных шахтах являются взрывные работы, бурение шнуров, комбайновая проходка горных выработок и выемка угля, погрузка и разгрузка породы и угля и др. От источников пылеобразования угольная пыль вентиляционной струей переносится на значительные расстояния. Оседая по пути движения воздушной струи, пыль образует на боках и почве выработок отложения [1, 2]. Опасность накопления в выработках пылевых отложений заключается в том, что при возникновении даже локального очага воспламенения метана пыль переходит во взвешенное состояние и может развиваться пылевоздушный взрыв с распространением по всей сети горных выработок.

По масштабам разрушений и числу жертв, взрывы угольной пыли опаснее взрывов газа.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Кулешов В.К., д.т.н., профессор кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

Годовая статистическая отчетность о состоянии производственных объектов и горных работ за 2001 г. свидетельствует о том, что:

□ 95 шахт разрабатывают пласты угля, опасные по взрывчатости угольной пыли;

□ 216 действующих очистных забоев разрабатывают пласты угля, опасные по взрывчатости угольной пыли;

□ 406 действующих подготовительных забоев разрабатывают пласты угля, опасные по взрывчатости угольной пыли.

Анализ статистического материала по взрывам метана и угольной пыли в шахтах свидетельствует о том, что как их количество, так и число жертв неуклонно растет [3, 4].

Основное количество взрывов происходит при ведении очистных и подготовительных горных работ, а также при ведении монтажных работ с нарушениями вентиляционного режима. Для снижения запыленности воздуха в горных выработках осуществляется ряд мероприятий: вентиляция, предварительное увлажнение угольного массива, орошение на комбайне, водяные и туманообразующие завесы, тканевые лабиринты, обмывка выработок и др. Эти способы не обеспечивают снижения концентрации пыли в воздухе до предельно допустимых концентраций по санитарным нормам. Применяемые средства пылевого контроля и пылеподавления не обеспечивают на должном уровне пылевзрывобезопасность при разработке угольных пластов. Поэтому необходимо своевременно выявлять наиболее опасные источники пылеобразования и воздействовать на них с целью снижения интенсивности пылевыделения.

Своевременное определение опасных концентраций пыли, предупреждение и локализация взрывов в шахтах приобретает особую значимость, становится не только актуальной проблемой, но и чуть ли не единственным способом

Целью настоящей работы является разработка автоматизированной системы, включающей в себя создание методов и прибора контроля дисперсионных двухфазных потоков пылевоздушных смесей в угольных шахтах. Разрабатываемая система предназначена для изучения пространственно-временного распределения образующихся частиц и их размеров, опасных концентраций пыли для своевременного предупреждения аварийных ситуаций в шахтах.

В основу разрабатываемого прибора положен голографический метод регистрации частиц. Голографический метод позволяет получить наиболее полную и точную информацию о геометрических и



кинематических параметрах пылевоздушной смеси, отнесенную к некоторому моменту времени. Суть голографического метода заключается в записи волнового фронта зондирующей волны, прошедшей через исследуемый объект (в данном случае пылевоздушная смесь), или рассеянной этим объектом. Преимущества голографического метода регистрации по сравнению с обычными методами фоторегистрации оптического изображения заключаются в возможности восстановить записанный волновой фронт и исследовать его различными методами, в том числе – выполнить стереометрические измерения в восстановленном трехмерном изображении.

Основной особенностью предлагаемого метода является прямая регистрация голограммы на цифровую матрицу скоростной камеры VS-СТТ-285-2001. Размер пиксела 6,45 мкм и габариты матрицы 8,8×6,6 мм. Регистрируемые данные выводятся непосредственно в ЭВМ и обрабатываются специальной программой, т.е. применяется числовая голография, без использования промежуточных носителей, что исключает искажения, вносимые нелинейным характером регистрирующих материалов.

Предлагается реализация следующих методов и подходов:

1. Осевая схема записи голограммы микрочастиц, обладающая минимальным количеством оптических элементов. Голограмма образуется на регистрирующей матрице как результат интерференции пучка лазерного излучения и предметного излучения (рассеянного на микрочастицах лазерного излучения)

2. Для цифрового моделирования процесса восстановления изображения по голограмме требуется знание основных принципов распространения волнового поля в пространстве. Цифровое восстановление основано на использовании приближения Кирхгофа задачи о дифракции. Интеграл Френеля-Кирхгофа устанавливает связь между распределениями комплексной амплитуды света в плоскости объекта (или голограммы) и в плоскости, удаленной на некоторое расстояние в направлении распространения волн. Если размеры голограммы и объекта малы по сравнению с расстоянием между ними, то справедливо параксиальное приближение Френеля, которое позволяет находить комплексную амплитуду

3. Восстановленное на ЭВМ или оптическим способом изображение сечения ансамбля микрочастиц необходимо обработать с целью классификации аэрозольных частиц по размерам и определения их координат. Полученные данные могут в дальнейшем использоваться для расчета, например, плотностей распределения частиц в различных точках исследуемого объема. Алгоритм классификации основан на

преобразовании изображения в бинарное способом порогового квантования и выделении контуров областей высокой интенсивности. Эти области нумеруются последовательными целыми числами с одновременным подсчетом площади частицы и координат ее центра тяжести. Характерной особенностью данного алгоритма является возможность обработки изображений больших размеров. Для обеспечения необходимого разрешения регистрируемый объект располагался на расстоянии около 5 см от матрицы цифровой камеры. На матрицу сначала регистрировалось излучение лазера без исследуемых частиц, затем излучение, прошедшее через аэрозоль. Вторая картина вычиталась из первой, кроме того, из зарегистрированной картины вычиталась постоянная засветка матрицы, которой техническими средствами устранить не удавалось. В результате этих операций остается чистая голографическая картина, которая далее подвергается обработке. Голограмма выдается в виде BMP-файла размером 1360x1024 точек. Восстановление картины с хорошим разрешением (размеры исследуемых аэрозольных частиц обычно лежат в пределах 1÷30 мкм) известными вычислительными методами требует около года чистого машинного времени на одно сечение в предметной области. Поэтому численный анализ полученных картин осуществляется поисковыми методами по выборке отдельных зарегистрированных частиц. После обработки голограмм программа выдает распределения частиц по размерам в виде графика.

### **Список информационных источников**

1. Справочник инженера-шахтостроителя. Под общей редакцией В.В. Белого. В 2-х томах. Том 1.-М.: Недра, 1983.-439с.
2. Краткий справочник горного инженера угольной шахты. Под общей редакцией Бурчакова А.С. и Кузюкова Ф.Ф. 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Недра, 1982.-454с.
3. Диколенко Е.Я. Причины взрывов газопылевоздушной смесей в шахтах и способы их предупреждения./ Безопасность труда в промышленности. №8, 1988, с. 12- 15.
4. Правила безопасности в угольных шахтах. Книга 3. Инструкции по борьбе с пылью и пылевзрывозащите. Липецк: Липецкое издательство, 1999.- 109 с.

## АНАЛИЗ ДЕФЕКТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Овсянникова Т.В.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет*

В январе 1964 года приказом № 2 Президиума Госкомитета по электронной технике СССР в городе Томске был открыт научно – исследовательский институт полупроводниковых приборов. В 1967 году при НИИПП был создан опытный, а позднее серийный завод по выпуску полупроводниковых приборов, разрабатываемых приборов, разрабатываемых в подразделениях института.

Главными направлениями исследований и разработок были и остаются: изделия СВЧ электроники, (смесительные, детекторные, настроечные диоды с барьером Шоттки мм диапазона и монолитные интегральные системы); приборы на эффекте Ганна; светодиоды и оптоэлектронные приборы.

60-е годы прошлого века – это время бурного развития радиоэлектроники, а стало быть, и предприятия НИИПП. Разрабатывалось и осваивалось много новых изделий, поэтому необходим был их контроль. Для этих целей на предприятии была организована служба главного контролера

В состав SGK (служба главного контролера) входило 3 бюро технического контроля, а также лаборатории входного контроля, бюро анализа брака.

С расширением производства и выпуском товаров народного потребления и изделий медицинской техники сотрудники освоили проведение приемо–сдаточных и периодических испытаний данных изделий. БАБ приходится заниматься анализом, кроме полупроводниковых изделий, еще и изделиями медицинского назначения:

Для проведения анализа дефектов и отказов сертифицированной продукции на предприятии имеются подразделения, оснащенные необходимым оборудованием: ОТК (ЦИС, БАБ). Производственные цеха также оснащены необходимыми средствами измерений, контрольным и испытательным оборудованием.

Порядок и организация проведения анализа дефектных и отказавших изделий в ОАО «НИИПП». (Анализ дефектных изделий,

---

*<sup>1</sup>Научный руководитель: Суржиков А.П., заведующий кафедрой физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ*

обнаруженных в процессе приемо–сдаточных испытаний с ВП и периодических испытаний).

Все изделия, забракованные или отказавшие на приемо–сдаточных испытаниях с ВП, конструктивных, периодических, типовых, контрольно – выборочных, на долговечность, на сохраняемость направляются на анализ в БАБ. Технический анализ отказавших изделий проводит комиссия в составе:

начальник ОТК – председатель; представитель ВП; представитель БАБ; начальник технического бюро цеха – изготовителя; главный конструктор предприятия (изделия);

БАБ в десятидневный срок совместно с членами комиссии проводит технический анализ изделий, отказавших на испытаниях. Технический анализ отказавших изделий проводят по типовой программе в соответствии с видом дефекта. Программы и методы анализа брака и отказов представлены в СТП 7606104.055. В случае отсутствия типовой программы составляется разовая программа технического анализа.

Для анализа состояния испытательного и измерительного оборудования приказом главного инженера создается постоянно действующая комиссия. По результатам обследования оформляется заключение. Данное заключение является неотъемлемой частью акта исследования отказавшего изделия. На основании результатов анализа и решений комиссии в бюро анализа брака составляется акт технического анализа. Общий срок анализа и оформление актов для изделий, отказавших на испытаниях, не должно превышать 12 дней с момента поступления забракованных изделий.

Порядок разработки и согласования планов мероприятий по результатам анализа дефектных и отказавших изделий.

С целью снижения технологических потерь, а также исключения отказов на испытаниях и у потребителя разрабатываются планы мероприятий по повышению качества изделий по результатам анализа отказавших изделий. План мероприятий должен содержать технические и организационные меры, направленные на устранение установленного дефекта. Для каждого пункта плана мероприятий должен быть указан ответственный исполнитель и срок окончания работ. План мероприятий составляется в случае неудовлетворительных результатов при приемке изделий ОТК или ВП, неудовлетворительных испытаний категорий П, К, Д, Сх. Планы мероприятий разрабатываются: технологом цеха совместно с куратором – технологом ТО – если дефекты обнаружены на этапе производства или отказ на технологических и приемо – сдаточных испытаниях связан с качеством самого изделия; ЦИС – если отказ

изделия на испытании связан с нарушением условий испытания, неисправным или некачественным оборудованием.

Для контроля за выполнением плана мероприятий в бюро управления качеством и ВП передается по одному экземпляру утвержденного плана. Технологию цехов составляется отчет, в который включается информация о мероприятиях по повышению качества изделий, результаты и эффективность проведенных мероприятий. Отчеты о выполнении планов мероприятий передаются в бюро управления качеством, ВП. Далее проходит исследование изделий поступивших по рекламационным актам. Проведение исследований дефектных изделий проводится в следующие сроки со дня поступления изделий и документов: 20 дней – по изделиям с приемкой ВП. 1 месяц – по остальным изделиям, если иное не оговорено нормативными документами.

#### **Список информационных источников**

1. СТО 7606104.002 Анализ системы менеджмента качества. Общие требования. Изд-во стандартов, 1991. - 14 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОБРАЗЦЫ МИКРОДИОРИТА, КОНТАКТИРУЮЩЕГО С СОЛЕВЫМ РАСТВОРОМ**

***Овсянникова Т.В.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

В настоящее время наиболее перспективным методом контроля изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива и прогноза геодинамических событий в шахтном поле рудников является метод, основанный на механоэлектрических преобразованиях в горных породах и других диэлектрических структурах. Проведенные наблюдения на железорудном месторождении Таштагольское при профилировании в горных выработках и при стационарных наблюдениях в период проведения технологических взрывов показали, что характеристики электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) зависят не только от минерального состава горных пород, слагающих массив, его структурной неоднородности, но и от степени увлажнения массива.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Яворович Л.В., к.т.н., с.н.с. проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников ИНК ТПУ

В работах [1,2] указывается, что в массиве горных пород влажность не является постоянной величиной. Ее значение определяется рядом факторов, в том числе размерами массива, скоростью испарения с его поверхности и конденсации влаги на ней, скоростью влагопереноса в породе. При этом вода оказывает существенное воздействие на структуру и прочность горных пород. Однако если на механические свойства горных пород большое влияние оказывает количество и фазовое состояние воды, то на электрические свойства еще и минеральный состав воды. Главнейшими растворимыми минералами, которыми в основном и определяют химический состав вод, являются: галит  $KCl$  и каменная соль  $NaCl$ , гипс  $CaSO_4$ , кальцит  $CaCO_3$ , доломит  $CaMgCO_3$ . Таким образом, физические свойства горных пород в естественном залегании в значительной степени характеризуются их влажностью.

В связи с этим, целью представленных в настоящей работе исследований является установление закономерностей изменения параметров электромагнитных сигналов (ЭМС) при акустическом возбуждении контакта микродиорита с минерализованной жидкостью.

В процессе исследований создавался контакт минерализованной и не минерализованной воды с образцом микродиорита. Исследуемый образец был отобран на Таштагольском железорудном месторождении из микродиоритовой дайки в блоке 34 горизонта -210 м. Образец тёмного цвета, тонкозернистой структуры с мелкими включениями пирита, образующего агрегаты, сложенные отдельными сформированными кристаллами. Имеются маломощные трещины, залеченные карбонатами, расположенные, примерно, поперёк образца. Образец имел форму параллелепипеда  $(80 \times 40 \times 40) \text{ мм}^3$ . При проведении экспериментов образец зажимали в струбине вместе с пьезоакустическим приемником и направляющей шарика, возбуждающего при ударе детерминированный акустический импульс. Прием ЭМС осуществляли с помощью дифференциального емкостного датчика с последующим усилением и регистрацией на экране осциллографа Tektronix TDS210. Затем сигналы записывали в память персонального компьютера, где в дальнейшем по специальным программам производилась их обработка.

На первом этапе исследовали акустическое возбуждение контакта микродиорита и дистиллированной воды. На следующем этапе экспериментов создавали контакт образца микродиорита с солевым раствором. Нижнюю грань образца на глубину 5 мм помещали в емкость с солевым раствором. Верхний электрод при этом оставался неизменным, а нижний электрод опускался в ёмкость с жидкостью. В

этом случае, так же как и в эксперименте с сухим образцом, создавали электрическое поле и проводили измерения ЭМС при изменении процентного содержания NaCl в дистиллированной воде: 0,1%, 0,4%, 0.7%, 1%, 2%, 3%, 4%, и 5%. После удара шариком по образцу микродиорита регистрировали ЭМС системы образец – минерализованная жидкость. С помощью процедуры быстрого преобразования Фурье были построены амплитудно-частотные спектры ЭМС. По полученным данным проведён анализ и построены зависимости изменения параметров ЭМС от процентного содержания NaCl в дистиллированной воде.

Таким образом, проведенные исследования параметров ЭМС, возникающих при акустическом возбуждении образца микродиорита, контактирующего с минерализованной жидкостью, показали, что изменения в амплитудно-частотном спектре ЭМС при увеличении процентного содержания NaCl в дистиллированной воде носят двойственный характер. С одной стороны, амплитуда спектральных полос ЭМС, регистрируемых в такой системе еще на стадии контакта образца с дистиллированной водой, определяется удельным электрическим сопротивлением солевого раствора и, как следствие, уменьшается с увеличением его концентрации. С другой стороны, повышение процентного содержания NaCl в контактирующей с образцом жидкости приводит к изменениям в частотном спектре ЭМС и появлению частотных полос, амплитуда которых линейно повышается с ростом концентрации солевого раствора. Полученные закономерности необходимо учитывать при разработке информационной системы контроля и прогноза геодинамических событий в шахтном поле рудников.

#### **Список информационных источников**

1. Кучурин С.В., Шкуратник В.Л., Винников В.А. Закономерности влияния помеховых факторов на термоэмиссионный эффект памяти в образцах угля. // ФТПРПИ. – 2008. – № 2, с. 21-28.
2. Беспалько А.А., Яворович Л.В. Исследование влияния концентрации водного раствора NaCl на параметры электромагнитного сигнала песчаников// Изв. вузов. Физика.- 2008.-№11/2.- с.117-120.

# ОПТИМИЗАЦИЯ ОСЕВОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

*Петрусёв А.С., Охорзина А.В.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Лицей при Томском политехническом университете, г. Томск*

Человечеству нужна энергия, причем потребности в ней увеличиваются с каждым годом. Вместе с тем запасы традиционных природных топлив (нефти, угля, газа и др.) конечны. В связи с указанными проблемами становится все более необходимым использование нетрадиционных энергоресурсов.

Среди возобновляемых источников энергии солнечная радиация по масштабам ресурсов, экологической чистоте и повсеместной распространенности наиболее перспективна.

Для повышения КПД солнечных элементов вводят систему слежения за Солнцем.

Величиной, оказывающей влияние на интенсивность облучения фотоэлектрического модуля (ФМ), является угол падения солнечных лучей на её поверхность. Применение систем слежения позволит изменять угол в зависимости от положения Солнца, что увеличит количество пришедшей мощности на поверхность ФМ.

Даже при эффективной стационарной установке солнечной батареи (СБ) проигрыш в вырабатываемой мощности достигает 50%, чем при непрерывном ориентировании на солнце. Следящая система обеспечивает более равномерное генерирование электричества с восхода до захода солнца.

## **Результаты расчетов**

На рис. 1 приведены результаты работы двух- и одноосевой систем, ФМ, установленного под углом горизонту и лежащего горизонтально в г. Томске. Из рисунка видно, что значительный выигрыш по сбору мощности летом относительно горизонтально расположенного ФМ наблюдается при использовании систем слежения. Выигрыш при использовании систем слежения относительно стационарного ФМ, закрепленного под углом к горизонту, составит порядка 50 %.

Установка однокоординатной системы слежения позволит повысить эффективность фотоэлектрической установки на 20...30 % в

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Юрченко А.В., д.т.н., профессор кафедры информационно-измерительной техники ИНК ТПУ



зависимости от региона, уменьшить срок окупаемости системы на 3–5 лет. Добавление второй координаты слежения позволит увеличить мощность на 7...10 %, но значительно повысит стоимость системы.

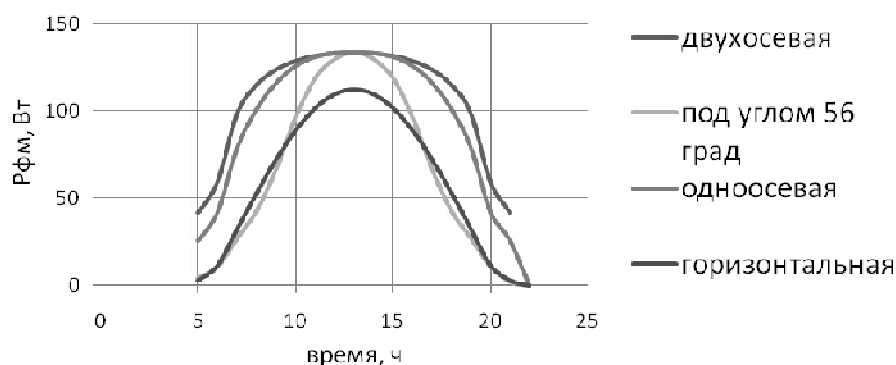


Рис. 1. График зависимостей вырабатываемой мощности ФМ (июнь)

### Система ориентирования

Для отработки алгоритма слежения была собрана система ориентирования ФМ на солнце на основе платы управления (принципиальная схема платы представлена на рис. 2).

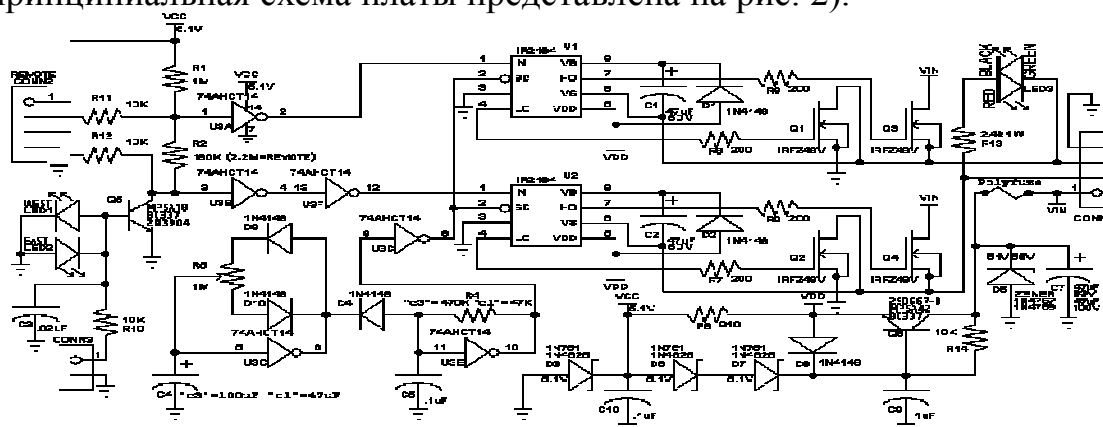


Рис.2. Принципиальная схема платы управления

Плата работает в пределах напряжения от 10 до 44 Вольт, что позволяет подключать её к СБ. Для платы используются светодиоды, отличающиеся низкой ценой и простотой конструкции. Благодаря расположенным светодиодам, угол между которыми составляет 90 градусов, плата способна распознавать с какой стороны идёт большее солнечное излучение. В зависимости от того, на какой светодиод падает больше солнца, с помощью усилителя формируется сигнал, который поступает к двум аналогичным частям платы, отличающихся тем, что одной части предшествует один логический элемент, а другой два. Следовательно, до микросхем доходят противоположные сигналы (0/1), в зависимости от которых одна микросхема замыкает ключ с

положительным полюсом, а другая с отрицательным. Поэтому ток идёт в одну сторону при падении большего количества излучения на один светодиод, и в другую сторону, если большее количество излучения падает на второй диод. За то, чтобы установка не работала беспрерывно, отвечает часть платы, посылающая периодически сигналы в SD разъёмы микросхемы. Без этого сигнала информация, полученная от светодиодов, не обрабатывается, и ключи не замыкаются. Регулировать время задержки можно с помощью специального резистора, изначально рассчитанного на 5 Мом. Регулируя сопротивление, можно добиться изменения задержки в достаточно больших амплитудах - от нескольких секунд, до нескольких минут (внешний вид платы управления представлен на рис. 3)

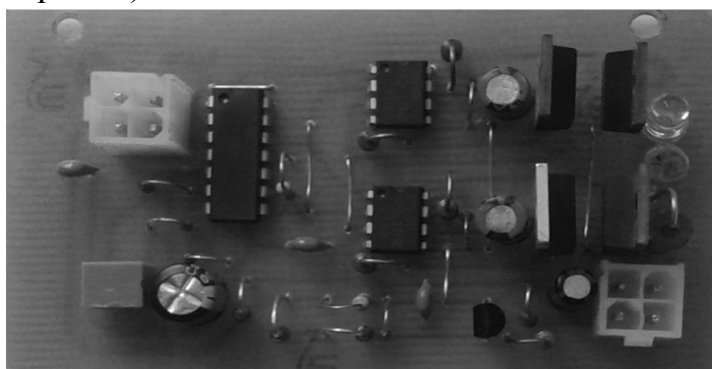


Рис. 3. Внешний вид платы управления

Главными преимуществами данной системы являются точность наведения, необходимая для ФМ и простота использования.

На основе платы слежения разработана система слежения за Солнцем. Создан двухосевой образец энергосистемы мощностью 25 Вт и проведены ее натурные испытания в течение года.

#### **Расчет шага системы**

Расчет шага системы необходим для экономичной работы системы слежения. Если система будет постоянно ориентироваться на солнце, то у нас будет постоянное потребление энергии, вырабатываемой ФМ. А в этом не необходимости, так как анализ диаграмм направленности ФМ показал, что в пределах отклонения  $15^\circ$  от нормали не происходит заметного снижения вырабатываемой мощности.

Опыты показали, что система может не работать без значительного снижения мощности для двухосевой системы в течение 1 часа, для одноосевой в течение полчаса.

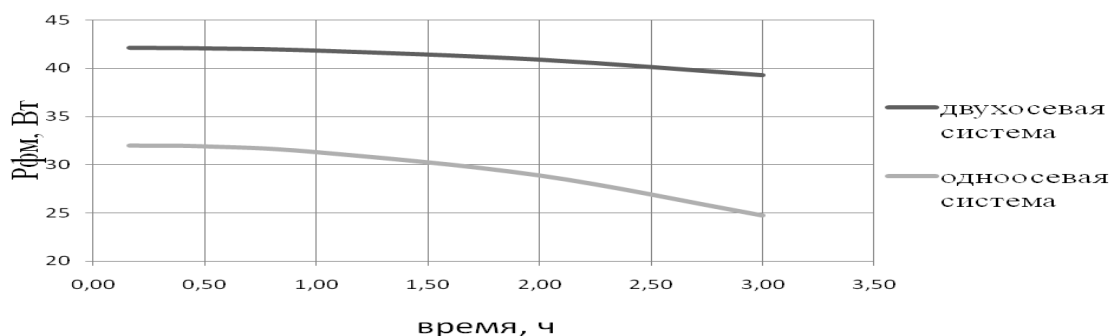


Рис. 4. Расчет шага системы

### Выводы

1. Построена модель работы энергосистемы с использованием системы слежения в Томске. Показано, что в Томске применение подобных систем позволяет увеличить сбор мощности до 35%.

2. Сконструирована плата управления, созданы макеты 1 и 2-х осевых систем слежения, проведена оптимизация режимов работы по времени ориентирования и минимальному углу поворота системы.

### Список информационных источников

1. Юрченко А.В., Саврасов Ф.В., Юрченко В.И. Реальная стоимость энергии - от ресурсов до потребителя //Известия Томского политехнического университета, 2009 - т. 314, - № 3. - с. 43-46
2. Юрченко А.В., Волгин А.В., Козлов А.В. Статическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов //Известия Томского политехнического университета, 2009 - т. 314, - № 4. - с. 142-148
3. W. Stine, M. Geyer. Power From The Sun// PowerFromTheSun.net URL: <http://www.powerfromthesun.net/index.html> (датаобращения 25.04.2012)
4. Кидрук М.И. Расчет потока солнечной радиации // progress21.com URL: <http://progress21.com.ua/ru/articles/solarradiation> (дата обращения 23.04.2012)

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГЕОМЕТРИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПОРЫ ШАРОВОГО ГИРОСКОПА

*Плеханов М.С., Кузьма А.А.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Стремление к повышению точности гироскопов привело к появлению целого ряда бескардановых схем подвеса ротора, основу которых составляет сферическая опора той или иной физической природы. Гироскопические приборы с газодинамическим подвесом ротора относятся к классу прецизионных приборов, поскольку к изготовлению элементов данного типа подвеса предъявляются высокие требования к геометрии деталей, точности, а также к свойствам применяемых материалов. Обеспечение необходимой точности и геометрии элементов газодинамического подвеса обуславливает возможность применения различных видов контрольно-измерительной техники.

Основными элементами, которые подвергаются контролю в первую очередь, являются шаровой ротор (в макете выполненный из стали ШХ15), который при вращении поддерживается аэродинамическими сферическими опорами, изготовленными из оловянисто-фосфористой бронзы марки БрОФ. Обязательным условием работы подвеса является наличие радиального зазора (в пределах  $1 \div 10$  мкм), обеспечиваемый за счет разности между радиусами шарика и чаши. Из этого условия формируется основное требование к контрольным и измерительным приборам – инструментальная погрешность не должна превышать  $0,5 \div 1$  мкм [1,2]. В связи с этим и возникают определенные сложности контроля параметров деталей.

Параметры поверхностей шарика и чаши контролируются такими приборами как сферометр, эталонная сфера и интерферометр.

Наиболее предпочтительные методы при контроле таких ответственных поверхностей – бесконтактные оптические. Контроль отклонения от сферичности с использованием сферометра предполагает измерение биения сферы индикаторной головкой с ценой деления 0,001 мм. При использовании эталонной сферы диаметр и отклонение от сферичности контролируется по её отпечатку. Контроль отклонения от сферичности при помощи интерферометра заключается в измерении величин изгибов или утолщений интерференционных полос на

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Голиков А.Н., доцент кафедры точного приборостроения ИНК ТПУ

сферических участках чаш. Интерференционные оптические измерения являются наиболее точными – погрешность составляет не более 0,15 мкм, получаемая картина дает полное представление о микрогеометрии поверхности [2].

Современная измерительная техника позволяет значительно упростить и автоматизировать процесс бесконтактного контроля геометрии сферических поверхностей с использованием метода трехмерного лазерного сканирования. Преимущества метода заключаются в бесконтактном способе измерений и высокой скорости обработки данных. Суть измерений заключается в вычислении координат множества точек поверхности и построения по этим данным трехмерной модели реального изделия [3]. Данный метод контроля является универсальным не только для деталей с различной сложной геометрией, но и дает возможность получить высокоточные виртуальные модели реальных изделий. При сканировании реальных элементов гироскопа – шара и чаш, появляется возможность получить 3D-сборку, соответствующую реальной и сравнительно легко и точно оценить радиальный зазор между этими элементами. Точность последних моделей 3D сканеров позволяют производить не менее 200 000 измерений в секунду с точностью 1 мкм, мобильны и просты в использовании, в отличие от специализированных средств измерений [4]. При изготовлении серии подобных приборов и контроле методом 3D сканирования, появляется возможность избежать брака еще на стадии операций окончательной подготовки поверхностей ротора и опоры, оперативно произвести выборку подходящих по радиальному зазору элементов перед сборкой, оценить его величину.

Разумеется, тот или иной вид контрольно-измерительных приборов целесообразно использовать исходя из условия необходимой точности измерений. Для контроля параметров прецизионной гироскопической техники предпочтительным было бы использование оптических средств контроля, которые дают достаточно полное представление о номинальных размерах, отклонениях и геометрической форме.

#### **Список информационных источников**

1. Гироскопические системы: Элементы гироскопических приборов: Учебник для ВУЗов по спец. «Гироскопические приборы и устройства»; Под ред. Д. С. Пельпора. –М.: Высшая школа, 1988. – 432с.
2. В. А. Тимофеев, Г. М. Леонов. Обработка внутренних и наружных сферических поверхностей в точном приборостроении. – М: Высшая школа, 1973. – 80 с.

3. А. И. Пекарш, С. И. Феокистов, Д. Г. Колыхалов, В. И. Шторт. Координатно-измерительные машины и комплексы//Наука и технологии в промышленности, №3, 2011, 36–48 с. [Электронный ресурс] Режим доступа – свободный, [http://www.ainrf.ru/papers/NT\\_3\\_2011/036.pdf](http://www.ainrf.ru/papers/NT_3_2011/036.pdf)
4. HEMISPHERICAL 3DSCANNERSURPHASER® 25HSX – [Электронный ресурс], режим доступа – свободный, <http://www.surphaser.com/surphaser.html>

## **МНОГОДИАПАЗОННЫЙ ПИРОМЕТР**

***Плоткин Е.В.***

*Омский государственный технический университет*

В современном мире часто приходится сталкиваться с измерениями температуры различными способами. Несмотря на эффективность контактных методов измерения температуры в производстве возникают задачи, которые нецелесообразно решать данным способом. Поэтому для измерения температур труднодоступных, движущихся и объектов повышенной опасности разумно применять приборы, которые измеряют температуру бесконтактным методом. Такие приборы называют пирометрами.

Любые нагретые тела являются источником инфракрасного излучения. Чем выше температура тела, тем короче длина волны и выше интенсивность излучения.

Начальная настройка любого пирометра происходит на «абсолютно черном теле». Но так как реальные объекты и условия эксплуатации далеки от идеальной модели измерений, то появляется погрешность в показаниях у однодиапазонных пирометров. Основными факторами, которые вносят негативное влияние, являются: коэффициент излучения, поглощение излучения мелкими частицами пыли, его рассеивание в дыму атмосферы.

Простейший вид радиометрической цепочки для однодиапазонного пирометра представлен на рис. 1.

Если требование к показаниям температуры велики, то однодиапазонный пирометр не сможет их выполнять. В таком случае необходимо применять многодиапазонный пирометр. Вид радиометрической цепочки многодиапазонного пирометра представлен на рис. 2.

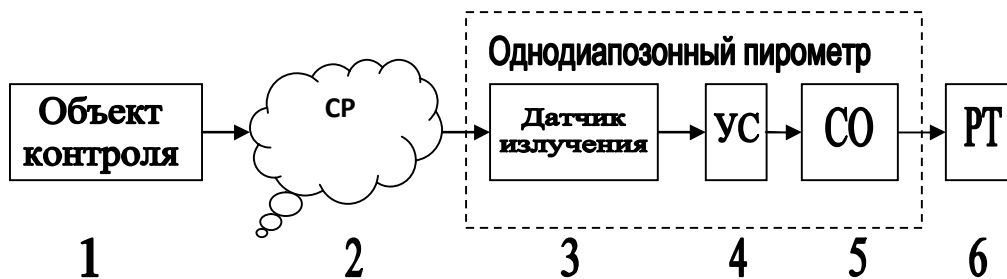


Рис. 1. Вид радиометрической цепочки однодиапазонного пирометра: 1 – объект контроля; 2 – среда распространения; 3 – Приемник излучения; 4 – Усилитель входного сигнала; 5 – Система обработки; 6 – Температура в понятном для оператора коде

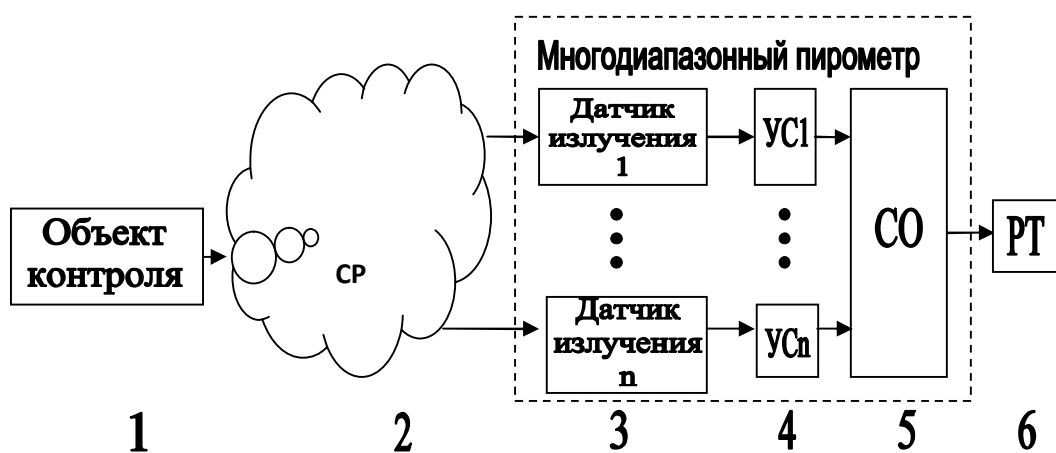


Рис. 2. Вид радиометрической цепочки многодиапазонного пирометра: 1 – объект контроля; 2 – среда распространения; 3 – Приемники излучения; 4 – Усилители входных сигналов; 5 – Система обработки; 6 – Температура в понятном для оператора коде

Многодиапазонный пирометр помогает снизить, а в ряде случаев и полностью избежать факторов, которые негативно сказываются на показаниях пирометра.

Из-за сложной математической модели многодиапазонного пирометра было предложено использовать искусственную нейронную сеть в качестве средства обработки информации. Проведенные первичные исследования показали возможность успешного применения подобных сетей для обработки измерительной информации в пирометрических датчиках.

Искусственные нейронные сети представляют собой устройства параллельных вычислений, состоящие из множества взаимодействующих простых процессов.

Каждая связь между нейронами имеет свой весовой коэффициент, который подстраивается в результате обучения сети. И каждый

нейронный выход имеет функцию активации. Она может быть разной даже внутри одного слова, но при этом усложняется этап обучения.

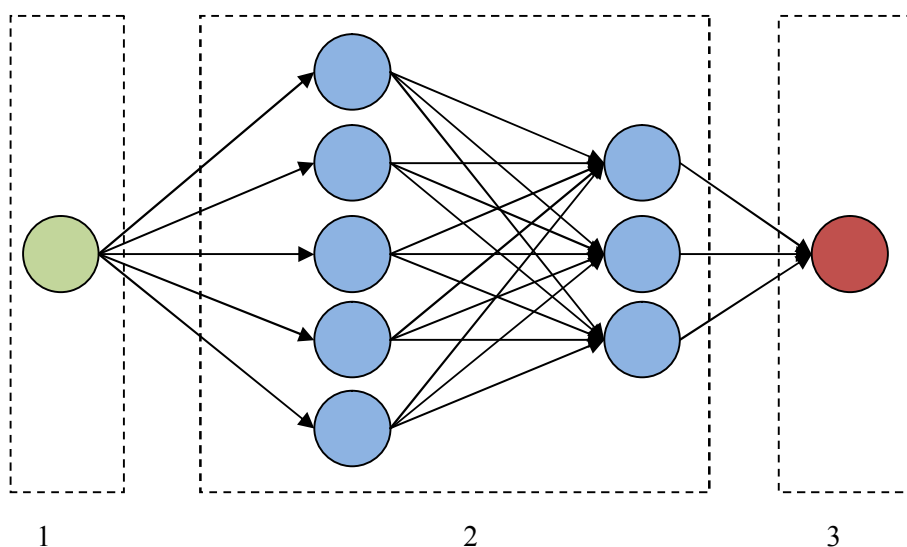


Рис.3. Пример структурного строения нейронной сети: 1 – Входной нейрон;  
2 – скрытые слои; 3 – Выходной нейрон

В заключение хотелось бы отметить, что нейронная сеть потенциально предоставляет большие возможности для обработки информации в многодиапазонных пирометрах. Однако, в зависимости от конкретных условий измерения оптимальная структура нейронной сети будет разной. Поэтому, первоначально, на первый план выходит задача построения нейронных сетей для простейших случаев, в частности – для компенсации влияния коэффициента излучения объекта. Данная работа ведется на кафедре РТУиСД ОмГТУ.

#### **Список информационных источников**

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: ИД Спектр, 2009. – С. 107-133.
2. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. Перев. с франц./ Ж.Госсорг. – М.: Мир, 1988. – С.25-50.
3. Основные концепции нейронных сетей. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – С. 12-25.



## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА ПРОИЗВОДСТВЕ В ОАО «МРСК СИБИРИ» - «ХАКАСЭНЕРГО»**

***Попова А.Ю.***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

На сегодняшний день вопросы об обеспечении потребителей электроэнергией являются достаточно актуальными. Число компаний по транспортировке электроэнергии увеличивается с каждым годом, так как эта область является «золотой жилой». Почти каждый человек нуждается в электроэнергии и в нашем модернизированном обществе электричество это не роскошь, а просто необходимость.

ОАО «МРСК Сибири» является крупнейшим поставщиком электроэнергии в Сибири. В состав МРСК Сибири входят филиалы – Алтайэнерго, Бурятэнерго, Горно-алтайские электрические сети, Красноярскэнерго, Кузбассэнерго-РЭС, Омскэнерго, Хакасэнерго, Читаэнерго. ОАО «Томская распределительная компания» находится под управлением МРСК Сибири, ОАО «Тываэнерго» является дочерним обществом МРСК Сибири. В филиалах действует 243 РЭС (района электрических сетей).

Именно поэтому для выполнения заданной работы мною было выбрано это предприятие. Моим руководителем от предприятия была назначена инженер первой категории сектора технического обслуживания и ремонта отдела эксплуатации ТООР аппарата управления филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Хакасэнерго» Агеева Полина Алексеевна. С её помощью и была организована работа с выездом на производственное отделение Южные электрические сети, где я и проходила интереснейшую часть своей практики.

К охране труда на данном предприятии относятся серьёзным образом, т.к. люди, в большинстве своем, имеют дело с оборудованием, находящиеся под высоким напряжением. Основным принципом политики ОАО «Хакасэнерго» в области охраны труда является признание и обеспечение приоритета жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности.

Работа в области охраны труда на предприятиях ОАО «Хакасэнерго» организована в соответствии с нормативами по охране труда, предписаниями органов государственного надзора, «Положением о системе управления охраной труда (СУОТ)» и другими организационно - распорядительными документами «Хакасэнерго» и вышестоящих органов управления. Организована рабочая группа по внедрению в ОАО «Хакасэнерго» систем управления в области охраны

труда и предупреждения профессиональных заболеваний в соответствии с международным стандартом OHSAS 18001:1999 и российским ГОСТ Р 12.0.006-2002.

В процессе выполнения поставленных передо мною задач в ОАО «МРСК Сибири» - «Хакасэнерго» ознакомилась с различными методами, средствами и приборами используемыми на предприятии для контроля качества производства, а также с дистанционной диагностикой неразрушающего контроля. Сюда, хотелось бы добавить, что наиболее близко я была ознакомлена с принципом работы линейного измерителя состояния деревянных опор универсального ЛИС-У. Прибор предназначен для контроля и мониторинга состояния деревянных одностоечных опор с грунтовой заделкой воздушных линий электропередачи, линий связи, а также опор установленных в забетонированных металлических стаканах временных воздушных линий. В отличие от существующих методов контроля деревянных одностоечных опор, акустический метод позволяет обнаружить любые изменения структуры древесины, по всей длине опоры, в том числе и в зоне опасного сечения на глубине около 50 см под землей, а также изменения заделки опоры (оседание грунта, его размывка).

Также был проведен тепловизионный контроль оборудования. Это эффективное средство выявления дефектов на ранних стадиях развития. Его экономическая выгодность неоспорима, а простота и удобство позволяет применять его достаточно часто. Недостатками метода является в первую очередь несовершенство приборов и методов ИК диагностики. Тепловизионное обследование состояние оборудования (рис. 1–3) не может заменить традиционных измерений, но как дополнительный источник информации имеет больше плюсов, чем минусов.

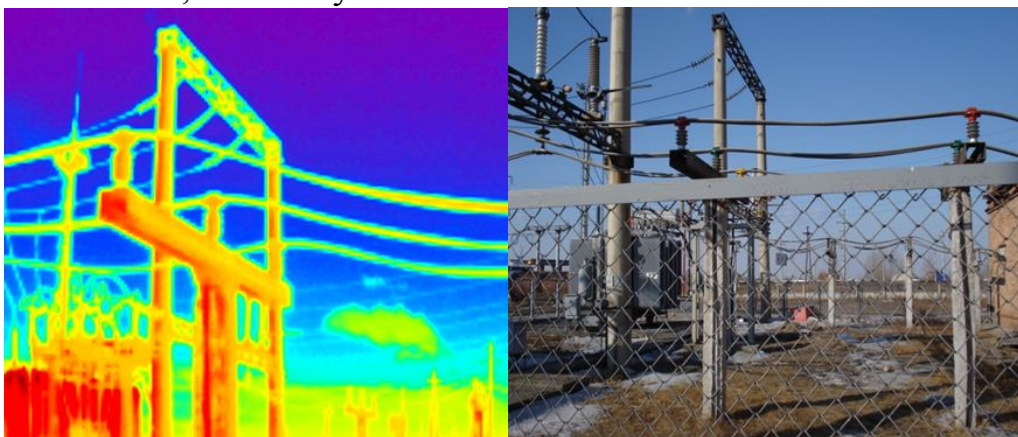


Рис. 1. Тепловизионное обследование системы сборных шин 10кВ

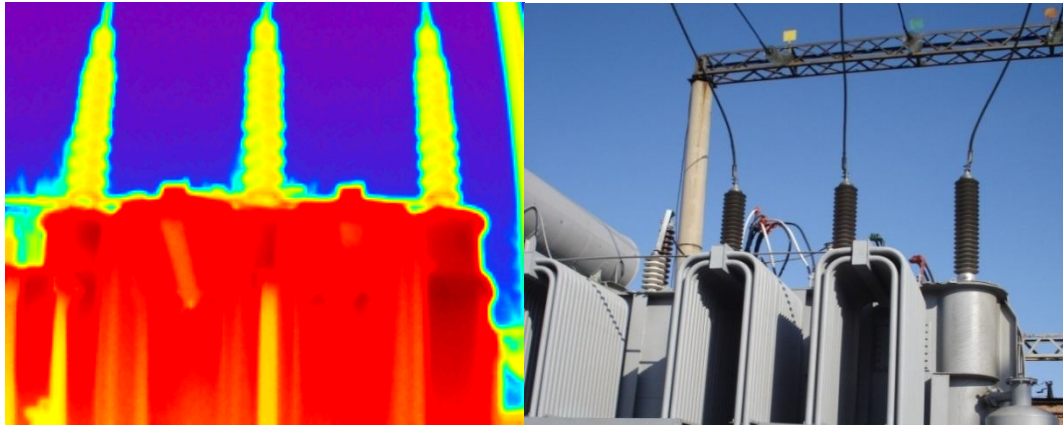


Рис. 2. Тепловизионное обследование трансформатора

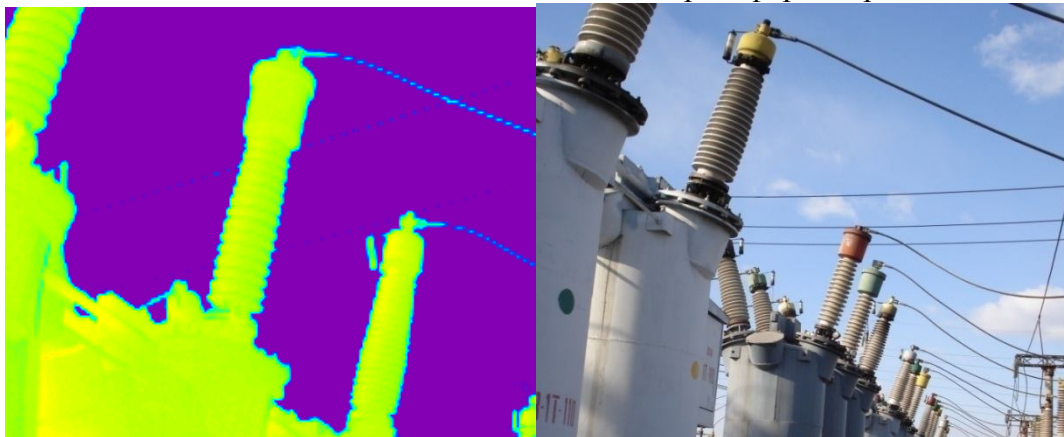


Рис. 3. Тепловизионное обследование маслянных выключателей

Несмотря на то, что данная подстанция не является проблемной, в ходе обследования был выявлен нагрев в области болтового присоединения (рис. 4) подходящего к оголовнику до температуры 5,9 °С разъединителя со стороны ВФЗ-27,5. Избыточная температура составила 25,9 °С, что соответствует развивающемуся дефекту. Установленные параметры: *Коэффициент излучения 0,95; Расстояние до объекта 5,0 м*

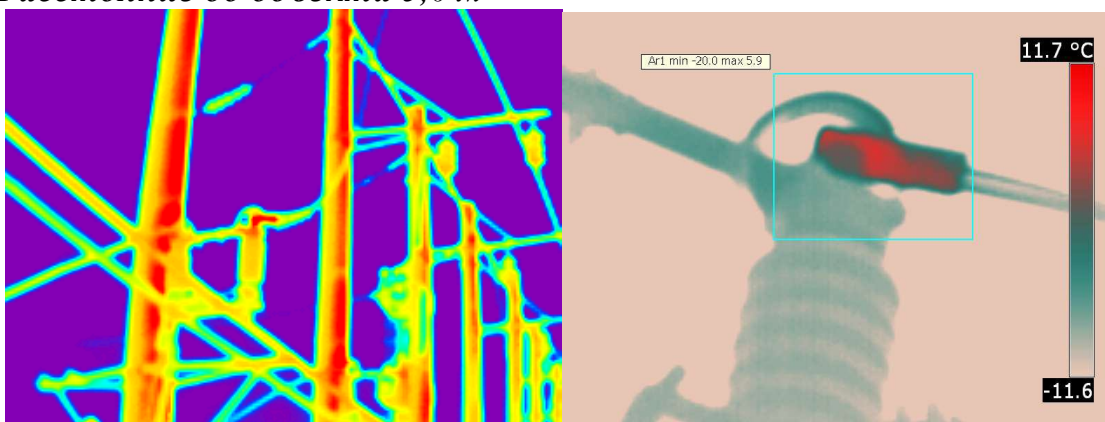


Рис. 4. Результаты ИКД при помощи тепловизора Testo(слева) и тепловизора Flir(справа)

Также была проведена поверка СИ в ОАО «МРСК Сибири» - «Хакасэнерго» согласно СО 5.166.0-00 «Метрологическое обеспечение производства» в отделе метрологии. СИ, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, подлежат поверке. Поверку средств измерений осуществляют организации, аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений. СИ, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Основной задачей моей работы стало ознакомление с основными аспектами работы ОАО «МРСК Сибири» - «Хакасэнерго», знакомство с отчетностью и планами компании, изучение внутренней документации предприятия под руководством опытного специалиста. Была ознакомлена с работой инженера 1 категории сектора технического обслуживания и ремонта отдела эксплуатации и ТОиР, и обязанностями некоторых других работников. В связи с той информацией, которую я на предприятии можно сделать вывод, что предприятие развивается, стабильно и динамично.

#### **Список информационных источников**

1. Бекешко Н.А. Некоторые актуальные вопросы развития методов и средств теплового неразрушающего контроля // Дефектоскопия. 1986. -№12. С. 48-55.
2. О.Н. Будадин, А.И. Потапов, В.И. Калганов и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий: Научно-методическое пособие. М.: Наука, 2002. -472 с.
3. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: Справочник.- М.: Машиностроение, 1991. 240 с.
4. Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применения. М.: Интел универсал, 2002. 88 с.
5. <http://www.khakasenergo.ru/> - сайт филиала ОАО «МРСК Сибири» — «Хакасэнерго»

## ОСОБЕННОСТИ ПЕЧАТИ НА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ

*Равшанов Д. Ч<sup>1</sup>, Гребень Т.А.\**

*Таджикский технический университет им. акад. М. Осими,*

*\*МГУП им. Ивана Федорова*

Бурное развитие упаковочной индустрии, выдвигает повышенные требования к качеству печати на поверхности полимерных пленок. Кроме того, интерес к печати на полимерных пленках значительно возрастет в связи с внедрением новых технологических процессов изготовления электронных микросхем полиграфическими методами. При разработке новых процессов, связанных с печатью на полимерных пленках их повышенная гидрофобность требует разработку методов повышения гидрофильности поверхности, и как следствие повышения адгезионной прочности на границе полимерная пленка – печатная краска.

### Методика эксперимента

В качестве объектов исследования выбраны полимерные пленки, наиболее часто используемые в качестве упаковочных материалов.

При проведении экспериментальных работ использовались промышленные образцы полимерных пленок из полипропилена и полиэтилентерефталата.

При оценке гидрофильности поверхности полимерных пленок по величине краевого угла смачивания, в качестве смачивающей жидкости использовалась дистиллированная вода.

В качестве модельной композиции для оценки адгезионных свойств на границе пленка – краска использовались печатные краски как на водной основе (латексные), так и на основе органических растворителей (этанол, этилацетат).

Для обработки полимерных пленок коронным разрядом. Использовали специальную установку, принципиальная схема которой представлена на рис.1.

Моделирование процессов флексографского способа печати осуществляли на специальном пробопечатном устройстве FlexiProof 100.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Баблюк Е.Б., д.т.н., с.н.с., зав. кафедрой инновационных технологий и управления, МГУМ имени Ивана Федорова

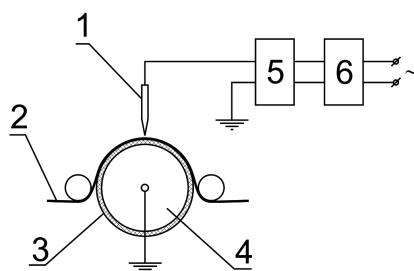


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для обработки полимерных пленок ВЧ коронным разрядом: 1 – коронирующий электрод; 2 – полимерная пленка; 3 – диэлектрическое покрытие заземленного электрода; 4 – заземленный электрод; 5 – высоковольтный трансформатор; 6 – ВЧ-генератор

Оценку адгезионных свойств поверхностей полимерных пленок осуществляли путем испытания специально приготовленных адгезионных соединений методом нормального отрыва.

При оценке адгезионной прочности в качестве силоизмерительного устройства использовалась разрывная машина РМ-50.

#### Экспериментальные результаты

В таблице 1 представлены результаты оценки гидрофильности поверхности полимерных пленок по величине краевого угла смачивания до и после обработки коронным разрядом.

На образцах полимерных пленок, активированных и не активированных коронным разрядом, было произведена оценка адгезионной прочности методом нормального отрыва.

Результаты оценки величины адгезионной прочности методом нормального отрыва для различных красок представлены в таблице 2. Адгезионная прочность оценивалась как среднее значение из десяти измерений. Анализ результатов, представленных в таблице 3, позволяет сделать вывод, что во всех случаях после обработки коронным разрядом достигается высокий уровень адгезионной прочности. Вместе с тем, и тип краски и тип полимерной пленки влияют на адгезионную прочность.

Таблица 1  
Результаты измерения краевого угла смачивания полимерной пленки (среднее значение)

Наименование пленки	Значение краевого угла смачивания, град.		
	До обработки	Режим обр. -1*	Режим обр.-2**
ПП	86	56	52
ПЭТФ	72	34	30

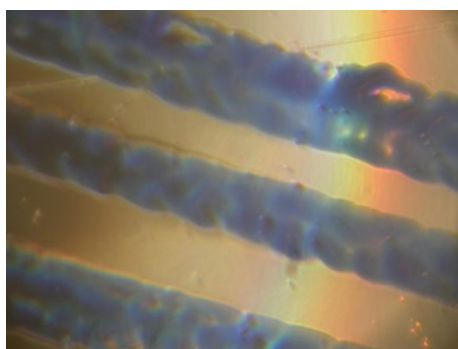
\* Обработка коронным разрядом силой тока 60 мА\*\* Обработка коронным разрядом силой тока 85 мА



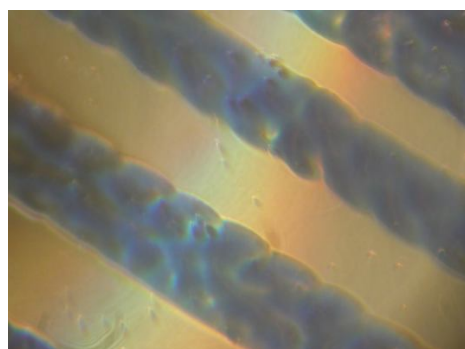
Таблица 2

Адгезионная прочность на границе полимерная пленка–краска

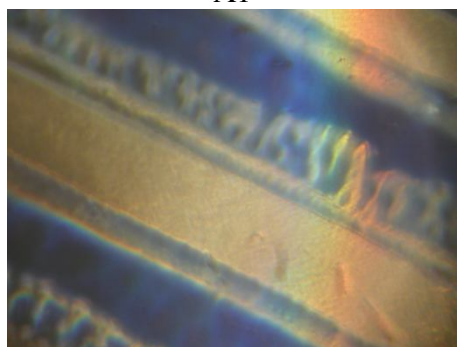
Тип пленки	Тип краски	Тип разрушения	Адгезионная прочность, Н/см <sup>2</sup>
1	2	3	4
ПЭТФ	спиртовая	Адгезионный на границе краска-полимерная пленка	15,1
ПЭТФ	водно-дисперсионная	Адгезионный на границе краска-полимерная пленка	18,0
ПЭТФ	УФ-отверждения	Адгезионный на границе краска-полимерная пленка	26,0
ПП	спиртовая	Адгезионный на границе краска-полимерная пленка	13,8
ПП	водно-дисперсионная	Адгезионный на границе краска-полимерная пленка	20,3
ПП	УФ-отверждения	Адгезионный на границе краска-полимерная пленка	18,4
ПЭТФ без обр.	УФ-отверждения		2,1
ПП без обр.	УФ-отверждения		1.2



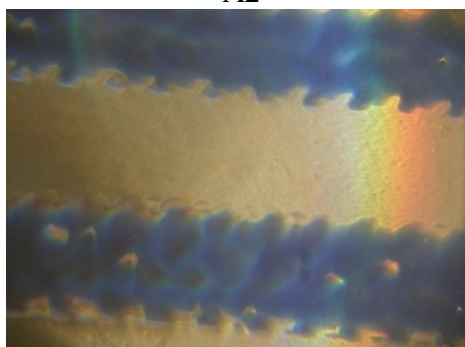
A1



A2



B1



B2

Рис. 3. Микрофотографии поверхности ПЭТФ (A1 и A2) и ПП (B1 и B2) пленок с отпечатанным участком штрихового теста УФ-отверждаемой краской при различной продолжительности обработки пленок коронным разрядом (A1 и B1 – 20 с) и (A2 и B2 – 60 с). Увеличение 150<sup>×</sup>

Так, например, для пленок из ПЭТФ, был обнаружен более высокий уровень адгезионной прочности. Это, по-видимому, связано, во-первых с начально более высокой поверхностной энергией, чем для ПП, во вторых – обработка коронным разрядом для ПЭТФ более эффективна, чем для ПП.

Для сравнения целесообразно привести данные по оценке адгезионной прочности для необработанных пленок из ПЭТФ и ПП. Эти результаты представлены в 2-х последних строках таблицы 2.

С использованием методов атомно-силовой микроскопии была исследована топология поверхности, как исходных полимерных пленок, так и пленок, подвергнутых модификации поверхности.

Качество печати оценивалось путем исследования микроизображений на запечатанном материале до и после «скотч-теста».

Как видно из представленных микрофотографий на ПЭТФ пленке получаются более четкие изображения штрихов. По-видимому, для ПП режим обработки не является оптимальным.

Как видно из представленных микрофотографий на ПЭТФ пленке получаются более четкие изображения штрихов. По-видимому, для ПП режим обработки не является оптимальным. Вместе с тем увеличение продолжительности обработки до 60 с. для пленки из ПП значительно улучшает качество изображения штрихов. Для ПЭТФ пленки даже обработка в течение 20 с. является достаточной, для получения качественного изображения.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА В АКУСТИКО-ЭМИССИОННОМ КОНТРОЛЕ**

***Рамазанов И.С.<sup>1</sup>, Степанова Л.Н.***

*ФГУП «СибНИА им. С.А. Чаплыгина», г. Новосибирск*

При АЭ-контроле параметры регистрируемых сигналов АЭ рассчитываются по цифровой форме. Наиболее надежным считается метод кластеризации, использующий в качестве меры сходства максимум коэффициента корреляции [1-2]. Недостатком этого метода является большой объем необходимых вычислений. Коэффициент корреляции определяется  $a$  раз для каждой пары сигналов АЭ, где  $a$  –

---

<sup>1</sup> Научный руководитель: Степанова Л.Н., д.т.н., профессор, начальник сектора по разработке акустико-эмиссионной и тензометрической аппаратуры



смещение форм сигналов из-за неточного определения времени прихода. Сложность метода растет пропорционально  $N^2$ , где  $N$  – число обрабатываемых сигналов АЭ. При его практическом использовании в реальном времени необходима разработка упрощенных алгоритмов кластеризации с применением вычислительно менее сложной меры сходства наблюдений.

Решением является сравнение сигналов АЭ по предварительно рассчитываемым по их цифровой форме параметрам. При этом, какой бы вычислительно емкой ни была процедура расчета отдельных параметров, это не сказывается на времени обработки, так как сложность метода будет возрастать пропорционально  $N \cdot n_p$ , где  $n_p$  – число параметров.

В переднем фронте сигнала АЭ содержится основная информация об его источнике излучения. Поэтому при кластеризации необходимо использовать параметры, рассчитываемые по переднему фронту.

Для кластеризации были использованы три различных метода. Первый метод кластеризации по переднему фронту сигнала АЭ был вычислительно наиболее простым. В качестве параметров сигнала АЭ использовалась скорость нарастания его переднего фронта, оцениваемая на двух временных интервалах по времени превышения амплитудой сигнала двух пороговых уровней. Преимуществом метода является возможность его схемотехнической реализации в виде устройства для кластеризации сигналов в процессе регистрации, а также независимость времени обработки от количества присутствующих источников сигналов АЭ.

Второй метод использовал координаты источника и погрешность их расчета, доминантную частоту, число осцилляций, время и скорость нарастания сигналов АЭ. Использование координат источника позволяет повысить «компактность» кластера, но затрудняет обработку слабых и зашумленных сигналов [1-3].

Третий метод кластеризации, основанный на анализе формы сигналов АЭ, использовался в качестве эталонного.

Два положения датчика имитатора на листе соответствовали двум кластерам сигналов АЭ. Достоверность определялась как процент сигналов, соотнесенных с соответствующим кластером. При анализе исходных данных все методы кластеризации показали высокую достоверность разделения источников.

Затем условия кластеризации искусственно ухудшались за счет добавления к форме сигналов АЭ случайного шума, распределенного по нормальному закону. При этом варьировался параметр

среднеквадратического отклонения (СКО) шума. В результате воздействия шума затруднялось определение времен прихода сигналов АЭ, ухудшалась локализация, вносились искажения в рассчитываемые параметры сигналов. Спектральные характеристики сигналов АЭ за счет введения нормально распределенного шума искажались равномерно по всему диапазону частот. Метод кластеризации по форме сигнала устойчив к таким помехам [3]. Достоверность методов ухудшалась с различной скоростью. Наиболее устойчивым оказался метод кластеризации по форме сигнала АЭ. Метод кластеризации по скорости нарастания переднего фронта при более высоком быстродействии показал значительное уменьшение достоверности уже при СКО шума в 30 % от амплитуды быстрой моды сигнала АЭ. Метод кластеризации по параметрам сравним по скорости с предыдущим методом, но из-за зависимости от качества локализации его достоверность может быстро уменьшаться для некоторых источников. Так, для второго источника сигналов АЭ, расположенного на краю зоны локализации, сразу же было отмечено резкое падение достоверности. Это означает, что дополнительное уточнение локализации отдельных сигналов АЭ может улучшить результаты работы метода.

Метод кластеризации по параметрам надежен при работе с сигналами АЭ, локализованными с точностью в (3..5) %. Он был выбран для разработки метода АЭ-контроля процесса сварки в реальном времени. Процесс сварки характеризуется регистрацией сигналов АЭ от множества источников. При этом формируется множество кластеров, некоторые из которых не соотносятся с реальными источниками сигналов АЭ. Для выявления таких кластеров необходима методика оценки достоверности кластеризации при неизвестном количестве источников сигналов АЭ. Оценку можно осуществлять путем статистического анализа распределений параметров сигналов в кластерах. Физическим смыслом анализа является поиск сигналов АЭ, близких по основным параметрам, и оценка меры сходства в кластере. Предполагается, что кластеры сигналов, не относящихся к одному источнику, статистически неоднородны, а опасные дефекты, напротив, генерируют близкие по характеристикам сигналы АЭ. Степень однородности кластеров предлагается оценивать по входящим в них сигналам АЭ. Выбирается контрольная группа параметров. Для каждого параметра  $p$  внутри кластера вычисляются величины:

- выборочная дисперсия распределения  $D_p$  и СКО  $\sigma = \sqrt{D_p}$  ;
- центральный момент распределения четвертого порядка  $\mu_p^4$  ;
- квантили распределения  $\zeta_{1/4}$ ,  $\zeta_{3/4}$ . Квантиль  $\zeta_z$ ,  $z=1/4$  или  $z=3/4$ ,

определяется как точка на числовой оси, в которой функция распределения переходит от значений, меньших  $z$ , к значениям, большим  $z$ :

$$(\zeta_z)_J : F_J(\zeta_z - \varepsilon) < Z F_J(\zeta_z + \varepsilon) > Z$$

где  $(\zeta_z)_J$  – квартиль распределения в кластере  $J$ ;  $F_J(x)$  – функция распределения параметра;  $\varepsilon > 0$  – погрешность определения квартиля.

Далее вычисляются характеристики внутрикластерного распределения параметра  $p$ :

1. *Экссесс*  $\gamma$  распределения – мера его однородности [4]:

$$\gamma = \frac{\mu_p^4}{D_p^2} - 3.$$

Смысл эксцесса  $\gamma$  как параметра распределения случайной величины в сравнении экспериментальной функции плотности с нормальной.

2. *Интерквартильная ширина*  $E$  – оценка разброса параметров [4]:

$$E = \zeta_{3/4} - \zeta_{1/4}.$$

Сравнение интерквартильной ширины с СКО характеризует степень однородности значений параметра в кластере.

Достоверность кластера полагалась достаточной при выполнении для набора параметров сигналов АЭ в кластере условий однородности:

$$\begin{cases} \gamma \geq 0 \\ E \leq \sigma \end{cases}.$$

Предлагаемый метод был проверен экспериментально при АЭ-контроле сварки стального образца (рис. 1). Параметры сигналов АЭ, зарегистрированных каждым датчиком, рассматривались независимо. Затем проверялись условия однородности по параметрам, вычисленным для пар датчиков, для которых расстояние до сварного шва одинаково (т.е. ПАЭ 0 – ПАЭ 1 и ПАЭ 2 – ПАЭ 3). Таким образом, минимизировались искажения параметров сигналов АЭ, связанные с разным временем распространения. Результаты анализа показали, что однородным по углу наклона переднего фронта следует считать кластер 8, по длительности переднего фронта – кластеры 3, 8, 9, по числу осцилляций – кластеры 3, 9. После проведения ультразвукового контроля (УЗК) кластеры были соотнесены с двумя обнаруженными дефектами сварки. Также дефектом был соотнесен кластер 2, однородность которого была признана недостаточной, и сделан вывод о возможности ошибки второго рода («пропуска цели») в результате применения методики. Поэтому метод оценки однородности кластеров применялся в сочетании с методом оценки степени опасности источника сигналов АЭ по медиане распределения энергии сигналов кластера [5].

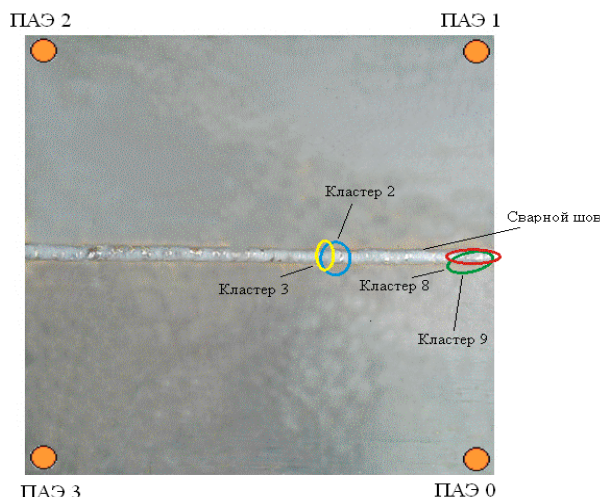


Рис. 1. Расположение кластеров локализованных сигналов АЭ относительно принимающих датчиков и сварного шва

### Список информационных источников

1. Мандель И.Д. Кластерный анализ.—М.: Финансы и статистика, 1988.— 176 с.
2. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Кабанов С.И. и др. Акустико-эмиссионный контроль авиационных конструкций. / под ред. Л.Н. Степановой, А.Н. Серьезнова. — М.: Машиностроение, 2008. - 440 с.
3. Дж. Бендат. Основы теории случайных шумов и ее применения. М: Наука, 1965. - 464 с.
4. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Рамазанов И.С. Анализ структуры кластеров сигналов акустической эмиссии для оценки степени опасности дефектов сварки. // Контроль. Диагностика.- 2011.- № 3.- С.68 - 72.

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТРУБ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ГИРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

*Рулёв Д.А., Кирюшкин Т.С., Рабданов Ч.А., Халабузар Е.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Для контроля труб, применяемых для гироразрыва пласта, применяют визуальный контроль, метод ультразвуковой толщинометрии и дефектоскопии, магнитопорошковый контроль, вихретоковый контроль, магнитопорошковый контроль, метод магнитной толщинометрии, метод гидравлических испытаний.

ООО “Альянс-Эксперт” располагается в городе Мегион, Ханты-Мансийского автономного округа. Персонал фирмы составляет 9 человек, генеральный директор, технический директор, заведующий лабораторией неразрушающего контроля, инженер и 5 дефектоскопистов по разным методам контроля. На рынке неразрушающего контроля фирма работает 4 года, основные заказчиками являются фирмы, занимающиеся гидро-разрывом пласта, “СWS”, “МеКаМиннефть”, “КАТКонефть”, “РУэнерджи”.

Гидроразрыв пласта - один из методов интенсификации работы нефтяных и газовых скважин и увеличения приёмистости нагнетательных скважин. Метод заключается в создании высокопроводимой трещины в целевом пласте для обеспечения притока добываемого флюида (газ, вода, конденсат, нефть либо их смесь) к забою скважины. Технология осуществления ГРП при добыче нефти включает в себя закачку в скважину с помощью мощных насосных станций жидкости разрыва (гель, в некоторых случаях вода, либо кислота при кислотных ГРП) при давлениях выше давления разрыва нефтеносного пласта. Для поддержания трещины в открытом состоянии в терригенных коллекторах используется расклинивающий агент — проппант, в карбонатных — кислота, которая разъедает стенки созданной трещины.



Рис.1. Насос, используемый для прокачки жидкости разрыва

Оборудование для ГРП состоит из нескольких насосов, нескольких манифольдов, подсоединяемых к скважине. Манифольд состоит из нескольких труб, задвижек, латералей, коленно-шарнирных соединений и т.д.

К манифольду подсоединяют насос, который прокачивает проппант в скважину.



Рис.2.Разобранный манифольд



Рис.3. Тройники, задвижки, лотерали

Визуальный контроль является наиболее важным и чаще всего выявляет недопустимые дефекты. Также при визуальном контроле используются шаблоны диаметра отверстия труб, если диаметр трубы больше шаблона, то труба бракуется. Дефекты возникают из-за неправильной эксплуатации оборудования, попадание песка и грязи в трубы, служащим абразивом.

Ультразвуковую толщинометрию осуществляли с помощью толщиномера УТ9215. В приборе используется метод ультразвуковой эхолокации. В качестве излучателя и приемника используется раздельно-совмещённый пьезоэлектрический ультразвуковой преобразователь. Он устанавливается на поверхность изделия, предварительно преобразователь смазывается контактной жидкостью.

Магнитопорошковый контроль осуществлялся с помощью универсального магнитопорошкового дефектоскопа ДМУ. Перед проведением контроля контролируемые участки детали должны быть зачищены от ржавчины и краски до металлического блеска. Далее на контролируемые поверхности наносится магнитная суспензия, которая



позже намагничивается с помощью ДМУ. Магнитная суспензия образует рисунок, при наличии микротрещины суспензия заполняет эту трещину. С помощью ультрафиолетовой лампы поверхность освещается, и мы наблюдаем наличие дефектов. Трещина чётко выражена яркой тонкой линией.



Рис.4. Промытость трубы



Рис.5. Универсальный магнитный дефектоскоп ДМУ

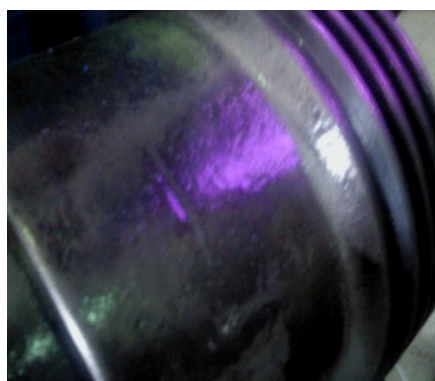


Рис.6. Микротрещина

Также применяется магнито-капиллярный метод. Он аналогичен магнитопорошковому, отличие заключается в том, что контролируемая поверхность не зачищается, на неё наносится белая контрастная краска, на белую краску наносится магнитная суспензия, после поверхность намагничивается постоянным магнитом. Трещины также ярко выражены тонкой линией.

Ещё одним из методов является гидравлические испытания. Им проверяются задвижки, мастер валы и КШС. Метод заключается в проверке изделий высоким давлением 15000 PSI (1030-1060 атмосфер). Мы подсоединяли насос к изделиям и создавали высокое давление в изделиях, проверяя изделие на протечку.



Рис.7.Гидравлический насос

После проведения неразрушающего контроля выдаются акты заключения по проведению неразрушающего контроля. Недостающие паспорта оформляются, имеющиеся продлеваются.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИК-РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАБОЯ ПРОХОДОК ТАШТАГОЛЬСКОГО РУДНИКА**

***Сальков С.Е.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Для мониторинга и контроля изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) в настоящее время предложены и внедряются методики, основанные на использовании различных физических полей, появляющихся при прохождении деформационных процессов в массивах горных пород шахтного поля. Одним из

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Беспалько А.А., к.ф.-м.н., в.н.с. проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников ИНК ТПУ



результативных направлений является разработка методик, использующих активное или пассивное изменение электромагнитного поля в различных диапазонах частот. Переход различных видов энергии в энергию электромагнитного поля зависит от свойств взаимодействующих систем, поэтому в Томском политехническом университете ведутся лабораторные и натурные исследования электромагнитных сигналов (ЭМС) диэлектрических структур и горных пород, возникающих вследствие механических и температурных воздействий на них. Эти исследования были начаты в Томском политехническом институте еще в начале 70-х годов под руководством А.А. Воробьева. Затем в работах В.Н. Сальникова и А.А. Воробьева впервые было показано [1] возникновение ЭМС при нагревании образцов горных пород и минералов. Однако при изменении напряженно-деформированного состояния горных пород наблюдается и изменение электромагнитного поля в инфракрасном (ИК) диапазоне. В работе [2] метод ИК-радиометрии применен для совершенствования способов выявления и диагностики вариаций напряженного состояния геоматериалов, основанных на использовании термодинамического эффекта изменения температуры тела при его деформировании. В работе [3] показано, что при механическом сжатии или растяжении, а также при разрушении в твердых телах возникают температурные градиенты, обусловленные процессами преобразования механической энергии в тепловую. Выделение тепла может происходить либо вследствие механического гистерезиса, либо за счет пластической деформации при возникновении и распространении трещин и разрушении. С ростом нагрузки происходит концентрация напряжений на микродефектах материала, что приводит, вначале, к появлению микротрещин, которые при достижении критического уровня нагрузки, объединяются в магистральные трещины, вызывающие разрушение материала [3].

В наших исследованиях необходимо было произвести измерение температуры породного массива забоев проходок в Таштагольском руднике и оценить возможность применения ИК-радиометрии для контроля НДС в горных породах. Для решения поставленных задач были проведены измерения температурного поля поверхностей массива горных пород в выработках четырёх горизонтов Таштагольской шахты.

Замеры температуры поверхности проводили с использованием тепловизора IRISYSIRI 4010. Принцип действия камеры заключается в том, что ИК (тепловое) излучение от исследуемого объекта через оптическую систему передается на приемник, представляющий собой неохлаждаемую матрицу фотодетекторов. Далее полученный

видеосигнал посредством электронного блока измерения, регистрации и математической обработки оцифровывается и отображается на экране дисплея тепловизора. Камера, обладающая матрицей  $160 \times 120$  элементов с температурной чувствительностью  $0,15^\circ\text{C}$  и спектральным диапазоном от 8 до 14 мкм, обеспечивает измерение температуры от  $-10^\circ\text{C}$  до  $+250^\circ\text{C}$ . Всего произведено 57 замеров на горизонтах  $\pm 0$ , -210, -280 и -350 Таштагольского рудника. Измерение температуры в основном проводилось на поверхности выработок, сложенных горными породами.

Анализируя полученные данные, можно оценить изменение температуры поверхности подземных выработок и бетонных сооружений в них. Температура поверхности забоев выработок (орт 11 горизонта -350), которые находятся в активной проходке, несколько выше, чем температура поверхности бортов выработок (орты 02 и 04 горизонта -210). Поверхности забоев, которые отстаиваются, определенное количество времени после отпалки (разрушения взрывом) имеют меньшую температуру. Это орты 02, 03, 04 горизонта -210, орты 8, 11 горизонта -350.

На рис. 1 приведены термоизображения забоев ортов 11 (рис.1, а) и 8 (рис.1, б) горизонта -350, полученные с помощью тепловизора IRISYSIRI 4010.

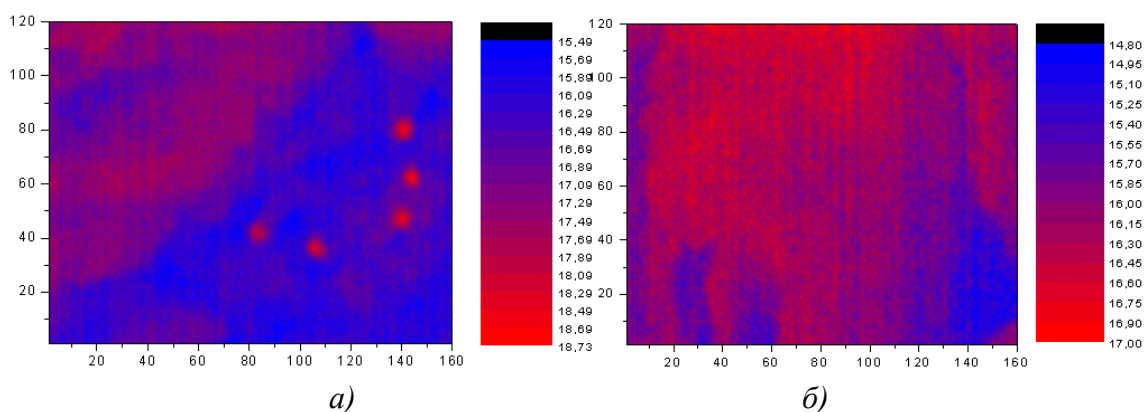


Рис. 1. а) термоизображение поверхности забоя орта 11 горизонта -350 после отстоя в течение 7 суток; б) термоизображение поверхности забоя орта 8 горизонта -350 через 8 часов после отпала и через час после орошения водой

На термограмме в забое 11 виден раздел по температуре поверхности блоков горного массива от  $15,7^\circ\text{C}$  до  $17,5^\circ\text{C}$  и с четко выделенными 5 круглыми пятнами с температурой около  $18,8^\circ\text{C}$ . Пятна с повышенной температурой на плане забоя соответствуют расположению 5 скважин диаметром 106 мм и глубиной до 10 м, пробуренных за 7 суток до проводимых измерений. Скважины

предназначены для разгрузки НДС горного массива в забое. Кроме того, в породном массиве в 8-10 метрах по ходу проходки орта 11 простирается горизонтальный разлом, который, вероятно, при проходящих в нем деформационных процессах и оказывает такое влияние на температурное поле в скважинах и в забое 11 орта в целом. На рис. 1, б приведено термоизображение забоя орта 8 на горизонте - 350. Здесь ИК-радиометрический снимок сделан через 8 часов после отпалки забоя и частичной его очистки. Перед проведением очистных работ забой был орошен водой, в результате чего прошло выравнивание температур поверхности породного массива, которое сопровождалось звуковыми эффектами в виде треска и падения «заломов». Температурное поле в верхней части забоя более равномерно, чем в его нижней части. Это, вероятно, обусловлено выполнением очистных работ непосредственно перед проведением ИК-радиометрии и неравномерным распределением НДС в основании забоя.

Проведенные исследования показали, что в Таштагольском руднике температура поверхности горных пород увеличивается с понижением горизонта. На термограммах забоев и других частей проходок наблюдается градиент температур, при этом в скважинах, непосредственно примыкающих к «живущему» разлому, превышение температуры над минимальной достигает 3,4 °С. Повышение температуры и ее понижение, как показано в работах [2, 3], сопровождается изменения НДС объекта. Таким образом, нами показана возможность контроля напряженно-деформированного состояния горных пород забоев проходок и породного массива с помощью метода ИК-радиометрии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП по ГК № 16.515.11.5085/01 и РФФИ № 11-07-98000*

#### **Список информационных источников**

1. Воробьев А.А., Заводовская Е.К., Сальников В.Н. Изменение электропроводности и радиоизлучение горных пород и минералов при физико-химических превращениях в них // Доклады АН СССР. – 1975. – Т. 220. – № 1. – С. 82–85.
2. Шейнин В.И., Мотовилов Э.А., Морозов А.А., Фаворов А.В. Идентификация напряжений в горных породах по изменению плотности потока инфракрасного излучения // ФТПРПИ. – 1999. – № 6. – С. 48–53.
3. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ВИБРОПРИВОДОМ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

*Семенцов А.О.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Базовым элементом микромеханического гироскопа (ММГ) является микроактюатор, при помощи которого возбуждаются первичные колебания, необходимые для работы прибора.

Наибольшее распространение получили гребневые микродвигатели [1], основанные на электростатическом принципе, как более технологичные и энергоёмкие. Они состоят из электродов с большим количеством штырей. В результате приложения напряжения к неподвижным электродам между штырями возникают силы взаимодействия, и подвижный электрод смещается. Величина возникающих сил взаимодействия пропорциональна числу штырей.

При изготовлении электростатических актюаторов применяются технологии поверхностной и объемной микрообработки.

Структура системы управления первичными колебаниями (СУПК) и заложенные в ней принципы функционирования во многом определяют такие важные характеристики микромеханического гироскопа, как:

- время готовности прибора;
- коэффициент преобразования;
- стабильность коэффициента преобразования.

Независимо от конструкции ММГ, СУПК решает следующие основные задачи:

- возбуждение первичных колебаний;
- поддержание заданной амплитуды колебаний за минимальное время с высокой стабильностью.
- формирование опорного сигнала для системы управления вторичными колебаниями.

Для достижения требуемой амплитуды первичных колебаний в ММГ необходимо использовать резонансные свойства механической части гироскопа. Обеспечение равенства частоты управляющего воздействия и собственной частоты чувствительного элемента (ЧЭ) является главным условием достижения необходимой амплитуды первичных колебаний [2].

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: *Бориков В.Н., к.т.н., зав. кафедрой точного приборостроения ИНК ТПУ*

Наиболее частое применение нашли две схемы возбуждения первичных колебаний на резонансной частоте:

- автогенераторная схема возбуждения;
- схема с опорным генератором, частота которого автоматически настраивается на собственную частоту ЧЭ.

На рис. 1 представлена упрощенная функциональная схема возбуждения первичных колебаний в ММГ.

Схема возбуждения первичных колебаний (СВПК) прикладывает напряжение прямоугольной формы к электродам 5 и 6 относительно инерционной массы 1. Сигналы прикладываются в противофазе, тем самым обеспечивается поступательное движение по оси  $Z$ . Электроды 3 и 4 совместно образуют переменные емкости обратной связи  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$ .

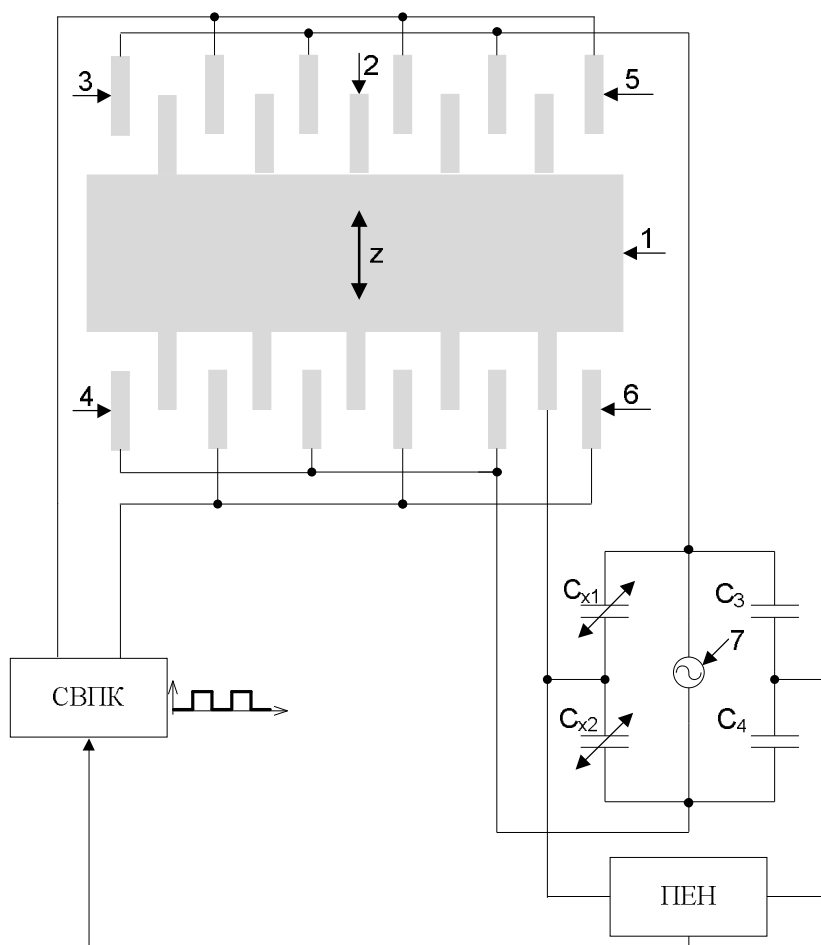


Рис. 1. Функциональная схема возбуждения первичных колебаний в ММГ

Источник переменного напряжения синусоидальной формы 7 используется для возбуждения измерительного моста, образованного переменными емкостями  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$ , а также постоянными емкостями  $C_3$  и  $C_4$ . Измерительный мост считается уравновешенным, когда

инерционная масса находится в нулевом положении относительно оси Z. Соответственно величина рассогласования моста позволяет судить об амплитуде первичных колебаний. Для поддержания колебаний ЧЭ на резонансной частоте вводится обратная связь в СВПК с помощью преобразователя емкость-напряжение (ПЕН), который преобразует изменение емкостей  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$  в постоянное напряжение.

Для исследования качества автогенераторных схем и схем с автоподстройкой частоты была разработана электромеханическая Simulink-модель колебательной системы. Simulink-модель имитирует поступательное перемещение чувствительного элемента, который представляет собой инерционную массу на гибком подвесе с учетом коэффициентов трения и демпфирования под воздействием электрических импульсов с регулируемой частотой и скважностью. Механическое перемещение преобразуется в изменение электрической емкости  $C_{x1}$ , которая включена в измерительный мост, как показано на рис. 1. Для упрощения процесса моделирования рассматривается процесс поступательного движения инерционной массы только в направлении электродов 3 и 5.

На рис. 2 представлены результаты моделирования системы с настройкой частоты колебаний ЧЭ на резонансную частоту с использованием обратной связи по амплитуде изменения емкости.

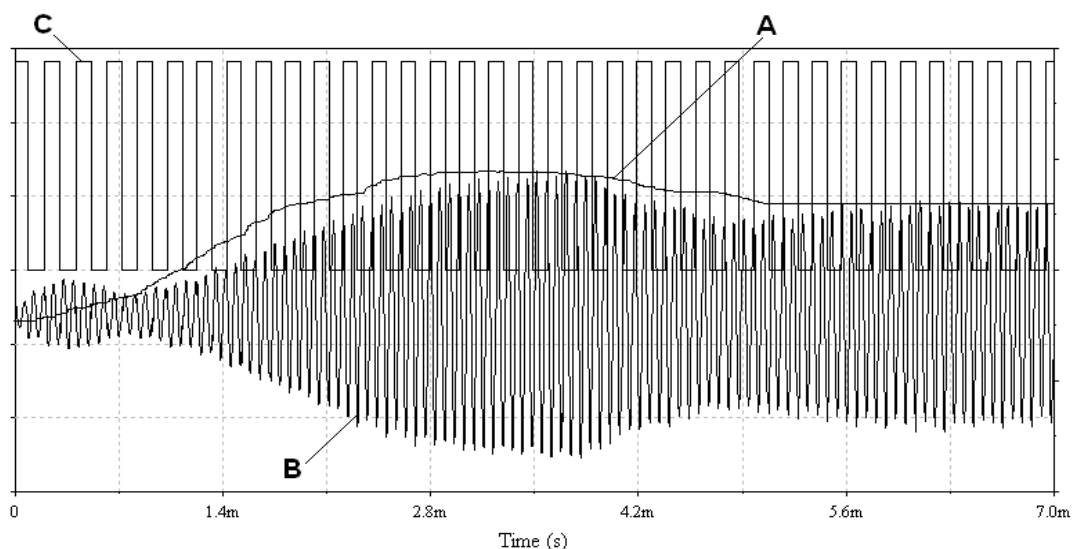


Рис. 2. А – выходной сигнал с преобразователя емкость-напряжение, В – амплитуда колебаний инерционной массы, С – сигнал возбуждения СВПК

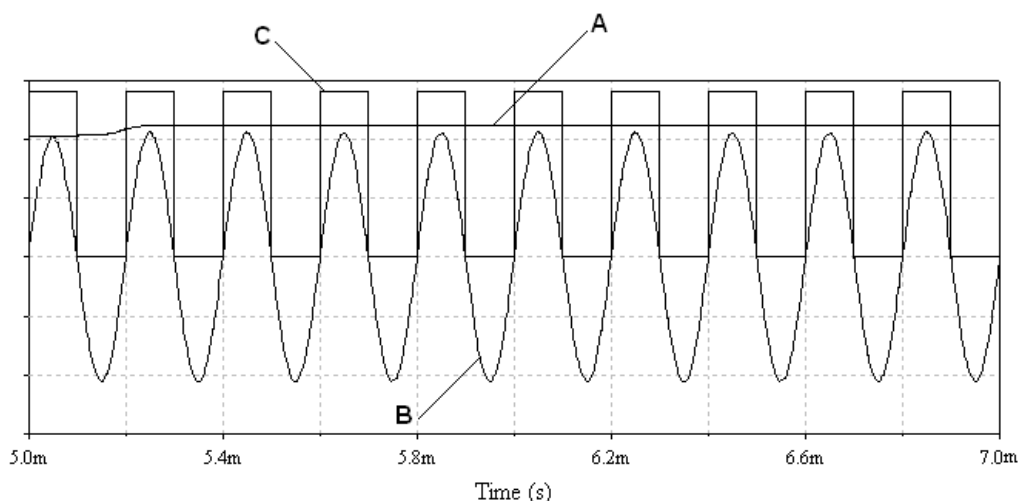


Рис. 3. Настройка колебаний ЧЭ на резонансную частоту (увеличенный фрагмент)

С увеличением частоты сигнала возбуждения (сигнал С) в ММГ наблюдается увеличение амплитуды колебаний инерционной массы (сигнал В), которая детектируется преобразователем емкость-напряжение (сигнал А) и через обратную связь поступает на вход управления частотой задающего генератора. Амплитуда колебаний ИМ стабилизируется вследствие совпадения частоты механического резонанса и частоты сигнала возбуждения. Последующее увеличение частоты задающего генератора приводит к уменьшению амплитуды колебаний инерционной массы и уменьшению сигнала А.

По результатам моделирования системы, представленных на рис. 2, наблюдается стабилизация амплитуды колебаний инерционной массы, а время настройки на резонансную частоту и стабилизация амплитуды не превышает 5 мс.

#### Список информационных источников

1. Распопов В. Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
2. Ковалев А. С. Управление первичными и вторичными колебаниями микромеханического гироскопа: Диссертационная работа. – 2008.

## ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ОБОБЩЕННОМУ ВЕКТОРУ ТОКА

*Славгородская Е.В.<sup>1</sup>*

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск*

Исследования процессов пуска различных асинхронных двигателей механизмов горно-обогажительного производства ОАО ММК позволил набрать обширный статистический ряд обобщенных векторов пуска. Были обследованы двигатели от 2,2 кВт (двигатель вытяжной вентиляции поста сварки) до двигателя 132 кВт (вентилятор) (общее количество двигателей составило 48 шт.), с периодичностью раз в квартал начиная в февраля 2010 года.

В качестве аппарата обработки сигналов выбрано непрерывное вейвлет преобразование CWT из пакета MatLab [1]. Под непрерывным вейвлет-преобразованием (CWT), как правило, понимается преобразование сигналов и функций в аналитической форме. Однако при обработке физических данных на ЭВМ они представляются в дискретной форме - числовыми рядами результатов измерений. В принципе, если дискретизация выполнена корректно и максимальные частоты в данных не превышают частоты Найквиста, то всегда возможно восстановление аналоговой формы сигналов. Однако обработка данных в аналоговой форме аналитическими методами не имеет каких-либо преимуществ перед цифровыми методами. Практически, чаще используется замена аналитических методов дискретными аналогами с достаточно малым шагом дискретизации. Применительно к CWT, если нас интересует только анализ сигнала (без последующего его синтеза), то дискретизация может выполняться с любой частотой, даже не удовлетворяющей критерию Найквиста.

Континуальный вейвлет-анализ представляет собой достаточно гибкий и в то же время весьма мощный инструмент временного и спектрального анализа, целью которого является построение частотно-временных характеристик сигналов, во многом проясняющих природу не только сигналов в целом, но также их составляющих. Можно назвать по крайней мере 2 характерные особенности, присущие континуальному вейвлет-анализу.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Петушков М.Ю., к.т.н., профессор кафедры электроники и микроэлектроники ЭиМЭ



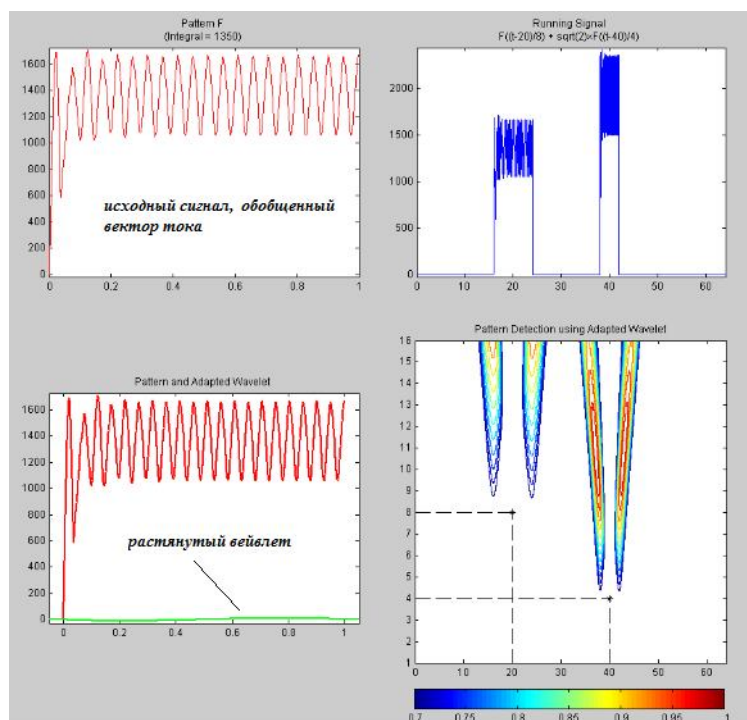


Рис. 1. Непрерывное вейвлет преобразование обобщенного вектора тока исправного двигателя

Первой такой особенностью является трехмерное представление сигнала в спектральной области. Такое представление, вообще говоря, является избыточным и отдаленно напоминает изображение детали, узла механизма и т.д. на эюре Монжа: эюр не вносит в деталь каких-либо конструктивных изменений, однако, существенно увеличивает объем информации о ней. Кроме того, подобное представление обеспечивает необходимой информацией как о временных, так и спектральных сингулярностях сигнала.

Другой отличительной чертой является существование ряда возможностей уменьшения избыточности информации, приводящей к алгоритмам сжатия и выделения сигналов из шума, посредством введения техники статистического анализа. Здесь целесообразно подчеркнуть, что упомянутая гибкость вейвлет-анализа достигается посредством применения различных функций и, следовательно, процедур синтеза вейвлет-спектра сигнала и его сжатия. Подобная свобода выбора, очевидно, определяет результирующее качество анализа и поэтому представляет собой безусловное достоинство техники вейвлет-анализа.

Постепенно усложняя процесс обработки, в пакете осуществляется дилатации материнской функции, т.е. ее растяжения и сжатия в  $a$  раз.

Однако представляет интерес видимое поведение исходного сигнала (обобщенного вектора тока), амплитуда которой по мере сжатия вейвлет-функции будет стремиться к постоянной величине и, наоборот, содержать несколько полных периодов внутри носителя сильно растянутого вейвлета рис.1. Из рисунка следует, что результирующее преобразование  $CWT(a,b)$  представляет собой функцию двух переменных: корреляционного сдвига  $b$  и масштабирующей переменной  $a$  материнской вейвлет-функции. Очевидно, максимумы и минимумы континуального преобразования, наблюдаемые на рисунке, характеризуют местоположение всплесков сигнала, соответствующие выбору различных значений масштабирующей переменной вейвлета (об этом свидетельствует также присутствие некоторого числа контурных линий, сходящихся к вершине экстремумов). В качестве двух пар  $(a,b)$ , заданы значения  $(20,8)$  и  $(40,4)$ , которые материализуются пунктирными линиями в правом нижнем графике контур участка SWT. Обнаружение экстремумов в этих точках характерно для обобщенных векторов пускового тока всех двигателей не имеющих неисправностей. Поэтому, можно предположить, что два локальных максимумов абсолютных значений непрерывных коэффициентов вейвлет подходят для идентификации исправности двигателя.

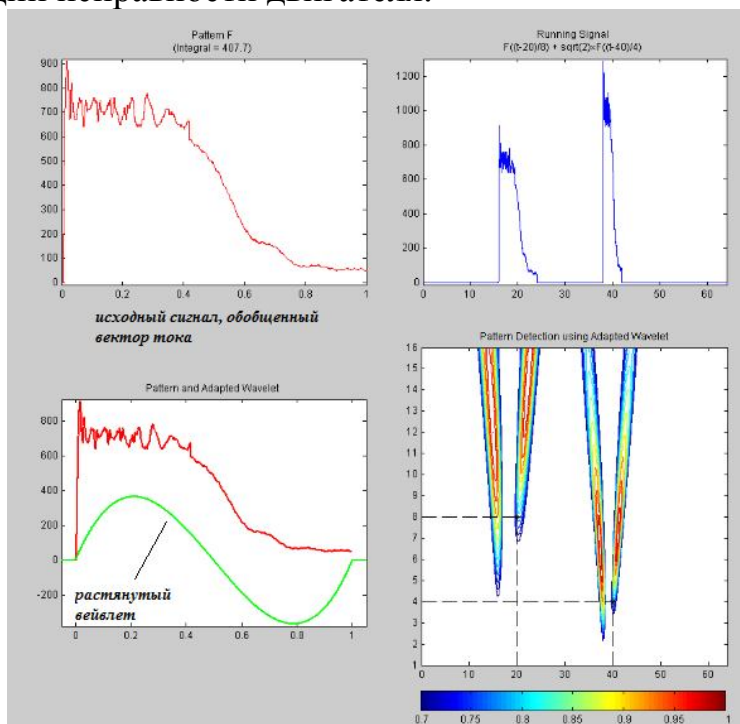


Рис. 2. Непрерывное вейвлет преобразование обобщенного вектора тока неисправного двигателя (межвитковое замыкание)

При исследовании двигателя насоса 45 кВт получен сигнал обобщенного вектора тока рис.2. на первый взгляд, типичный остальным. При исследовании его с помощью непрерывного вейвлет преобразования SWT наблюдается увеличение амплитуды растянутого вейвлета, также смещение экстремумов корреляционного сдвига *bi* масштабирующей переменной *am* материнской вейвлет-функции. Этот двигатель был выведен из эксплуатации, причина межвитковое замыкание статорных обмоток. В конечно-элементную модель была заложена такая неисправность, расчеты показали качественное совпадение обработки обобщенного вектора тока рассчитанного на модели и полученным ранее на неисправном двигателе. Таким образом, непрерывное вейвлет преобразование SWT обобщенного вектора тока при пуске позволяет выявить на ранних стадиях старение изоляции, приводящее к межвитковому замыканию.

#### **Список информационных источников**

1. Штарк Г.-Г. Применение вейвлетов для ЦОС. Москва: Техносфера, 2007.-192с.

### **ОСОБЕННОСТИ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ**

*Слюсарев О.А., Филишов Е.Н.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

При проектировании магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь-Тихий океан» (ВСТО) в дополнение к [4] были разработаны специальные технические требования [5] для производства сварочно-монтажных работ сварных соединений труб диаметром 1067-1220 мм. Магистральный нефтепровод по своим параметрам – рабочему давлению порядка 14 МПа, условиям прокладки в горной местности и в условиях вечной мерзлоты, классу используемых сталей – относится к уникальным объектам нефтяной промышленности. Требования к подготовке и неразрушающему контролю сварных соединений трубопроводов из сталей повышенных классов прочности порядка K56-K70 регламентируются руководящим документом [6], разработанным ОАО «АК «Транснефть» и ОАО ВНИИСТ.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Филишов Н.Я., ст. преподаватель кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ

Основным методом неразрушающего контроля кольцевых стыков нефтепровода был принят радиографический способ с ультразвуковым дублированием в объеме 100%. При сварке сталей высокой прочности возрастает вероятность появления плоскостных дефектов типа трещин и несплавов, для обнаружения которых требуется повышенная чувствительность и разрешающая способность применяемых способов контроля.

В разработанной нормативной документации [6] допускается применять радиографические мелкозернистые технические пленки чувствительностью не выше 25 1/рентген (обратных рентген) при условии получения необходимой чувствительности контроля. Для сокращения времени экспозиции радиографические пленки разрешено применять только с металлическими усиливающими экранами. Применение усиливающих флуоресцентных экранов запрещено из-за низкой их разрешающей способности.

В данной работе выяснялась обоснованность применения такого ограничения и определение области его распространения. Использование высокочувствительных рентгеновских пленок в сочетании с усиливающими флуоресцентными экранами позволяет значительно сократить время экспозиции и применять для просвечивания малогабаритные переносные импульсные рентгеновские аппараты типа «АРИНА». Увеличение экспозиционной дозы излучения в случае применения безэкранных рентгеновских пленок требует применения мощных рентгеновских аппаратов с накальной рентгеновской трубкой, габариты и стоимость которых намного выше.

При контроле линейной части трубопроводов большого диаметра чаще применяют схему панорамного просвечивания. Источник излучения помещается в центре трубы. Главные достоинства - высокая производительность. При просвечивании труб по такой схеме для получения изображения всего шва достаточно одной экспозиции. Также стенки трубы ослабляют поток ионизирующего излучения, и тем самым уменьшают риск облучения персонала.

При невозможности использования панорамного способа используют схему просвечивания через две стенки на 3 экспозиции. Источник излучения помещается с внешней стороны трубы на расстоянии 30-50 мм от плоскости шва. Производительность контроля в этом случае значительно снижается за счет увеличения числа экспозиций, радиационной толщины и фокусного расстояния.

Величина оптической плотности изображения на сварном шве по требованию ГОСТ 7512-82 и руководящей документации [6] должна быть не менее 1.5 единиц оптической плотности (е.о.п.).

Оптимизация параметров радиографического контроля труб большого диаметра проводилась путем подбора пленок и усиливающих экранов. В качестве регистрирующих материалов были использованы высокочувствительные экранные пленки фирмы AGFA-GEVERT (Бельгия) типа F8 NIF в комбинации с флуорометаллическими экранами RCF-2C и безэкранные пленки повышенной разрешающей способности фирмы AGFA-GEVERT (Бельгия) типа Д7 в комплекте с металлическими свинцовыми фольгами толщиной 0.05-0.09 мм. Источниками излучения служили импульсный рентгеновский аппарат «АРИНА-7» и рентгеновский аппарат с постоянным напряжением на рентгеновской трубке «MXR-200».

По полученным данным для всех комбинаций рентгеновских плёнок и усиливающих экранов были построены зависимости оптической плотности потемнения рентгеновской пленки от времени экспозиции. По этим зависимостям было определено необходимое время экспозиции для достижения оптической плотности потемнения рентгеновской пленки равной 2 е.о.п., которая необходима для получения оптимальной выявляемости дефектов.

Получены зависимости контрастной чувствительности и разрешающей рассматриваемых способов регистрации радиационного изображения для толщины сталей от 10 до 20 мм при фокусных расстояниях 500 и 1000 мм.

#### **Список информационных источников:**

1. Радиографический контроль сварных соединений: /Под ред. В.И. Горбачева. М.: «Спутник+», 2009.- 486 с.
2. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. 2002.
3. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ Под ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1995.
4. РД 153-006-02. Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов». М.: АО ВНИИСТ, 2002.
5. СТТ-08.80-60.30.00-КТН-031-1-05. Сварка при строительстве магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь-Тихий океан». М.: ОАО «АК «Транснефть», 2005.
6. РД-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов. М.: ОАО «АК «Транснефть», 2005.

## БЕЗРТУТНЫЙ ИСТОЧНИК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

*Смирнов<sup>1</sup> А.П., Ситников<sup>2</sup> А.Г., Тарасенко<sup>2</sup> В.Ф.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Томский государственный университет, г. Томск*

*<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт сильноточной электроники Сибирского отделения  
Российской академии наук, г. Томск*

В процессе производства интегральных схем существует необходимость обработки полупроводниковых пластин ультрафиолетовым излучением. Ультрафиолетовое облучение используется для удаления фоторезиста с полупроводниковых пластин.

В настоящее время для данной цели используется облучатели с ртутными лампами среднего и высокого давления. Недостатками облучателей с ртутными лампами являются: сильный нагрев лампы при работе, требование к интенсивному охлаждению лампы, наличие ртути, невысокий срок службы (2000 часов). Достаточно часто происходит разгерметизация колб, что приводит к попаданию ртути в рабочую камеру, а также в воздух служебного помещения.

Все перечисленные недостатки отсутствуют у разработанного в ИСЭ СО РАН облучателя на основе ХеСl - и ХеВr – эксиламп. Эксилампами называются источники спонтанного излучения ультрафиолетового диапазона, в которых используется излучение эксимерных и эксиплексных молекул – димеров и галогенидов инертных газов [1].

Облучающий модуль представляет собой конструктивно законченное готовое к применению устройство. В облучателе используется воздушное охлаждение эксилламп. Обрабатываемая полупроводниковая пластина помещается внутрь рабочей камеры облучателя. Характеристики облучателя представлены в табл. 1. Для применения в микроэлектронике излучение облучающих модулей должно обладать достаточной интенсивностью и высокой степенью однородности. Отклонение величины интенсивности УФ-излучения в центре выходного окна облучающего модуля по отношению к любой другой части светового поля при расстоянии от излучающей поверхности до подложки от 3 до 5 см составляет не более 15%.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Ситников А.Г., к.ф.-м.н., ведущий специалист

Отсутствие ртути должно улучшать экологическую обстановку как на предприятии изготовителе самих облучателей, так и на предприятиях, использующих облучатели. Следует отметить, что в ЕС производство ртутных ламп сворачивается и можно ожидать подобной тенденции и в России. Таким образом, применение эксиламп в промышленных технологиях, позволяет повысить уровень промышленной безопасности предприятий.

Таблица 1  
Характеристики облучателя

Параметр	Значение	
	HeCl*	HeBr*
Рабочая молекула	HeCl*	HeBr*
Отсутствие ртути	Да	Да
Длина волны $\lambda$ (max), нм	308	282
Полуширина спектральной полосы, нм	3	3
Плотность мощности излучения на поверхности излучателя, мВт/см <sup>2</sup>	до 40	до 25
Наличие разделительного окна из кварца между излучателем и зоной облучения пластин	Да	Да
Площадь разделительного окна, мм <sup>2</sup> , не менее	120x120	120x120
Количество эксиламп в излучателе, шт.	3	3
Питание от однофазной сети переменного тока	220В ± 10 %, 50 Гц	220В ± 10 %, 50 Гц
Наличие таймера	Да	Да

Облучающие модули на основе эксиламп могут применяться не только для удаления фоторезиста, но и для фундаментальных и прикладных исследований в области обработки ультрафиолетовым излучением полимерных и полупроводниковых структур применительно к производству изделий nano - и микроэлектроники. Кроме того, облучатели на основе эксиламп могут применяться в неразрушающих методах контроля, например, таких как люминесцентный капиллярный метод неразрушающего контроля.

#### Список информационных источников

1. Ультрафиолетовые и вакуумно-ультрафиолетовые эксилампы: физика, техника и применения / А. М. Бойченко [и др.] . – Томск. : STT, 2011. – 512 с.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ГЕОМЕТРИЯ

*Солоха А.И., Кропачев Р.В.<sup>1</sup>*

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

В развитии геометрии можно указать четыре основных периода, переходы между которыми обозначали качественное изменение геометрии.

**Первый** – период зарождения геометрии как математической науки — протекал в Древнем Египте, Вавилоне и Греции примерно до 5 в. до н. э. Первичные геометрические сведения появляются на самых ранних ступенях развития общества. Зачатками науки следует считать установление первых общих закономерностей, в данном случае — зависимостей между геометрическими величинами.

**Второй период** – развития геометрии связан со становлением геометрии в самостоятельную математическую науку: появились систематические её изложения, где её предложения последовательно доказывались. Сохранились и появившиеся около 300 г. до н. э. «Начала» Евклида.

**Третий период** – выделяют с 1-й половины XVIIв. Р.Декарт ввёл в геометрию метод координат, который позволил связать геометрию с развивавшейся тогда алгеброй и зарождающимся анализом. Применение методов этих наук в геометрии породило аналитическую геометрию, а потом и дифференциальную.

**Четвёртый период** – в развитии геометрии открывается построением Н. И. Лобачевским в 1826 новой, неевклидовой геометрии, называемой теперь геометрией Лобачевского.

Открытие того, что евклидова геометрия не является единственно возможной, оказало влияние на мировоззрение человечества, сравнимое с влиянием таких великих открытий естественных наук, как гелиоцентрическая система Коперника или эволюционная теория Дарвина.

Начиная с конца прошлого века неевклидова геометрия, наряду с евклидовой, является одним из рабочих инструментов математики, несмотря на то что "пространство, в котором мы живем", в доступных нашему пониманию пределах является скорее евклидовым, чем неевклидовым.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Потапова Л.А. доцент кафедры механики и инженерной графики МиИГ



В настоящей работе под термином «неевклидова геометрия» подразумевается геометрия Лобачевского или двойственная ей сферическая геометрия. Среди геометрий, в которых имеется понятие расстояния между точками, эти две геометрии вместе с евклидовой геометрией занимают особое положение. Их можно охарактеризовать как геометрии максимальной подвижности или геометрии постоянной кривизны, они являются в известном смысле наиболее совершенными.

23 февраля 1826 года Николай Иванович Лобачевский на заседании физико-математического факультета Казанского университета провозгласил о создании новой геометрии, названной им *«воображаемой геометрией»*. Эта геометрия была основана на тех же традиционных постулатах и аксиомах геометрии, как и у Евклида (330-275 г. до н. э.), но с заменой его пятого постулата о параллельных: *«на плоскости через точку, взятую вне данной прямой, можно провести одну и только одну прямую, параллельную данной прямой, а все остальные прямые, проходящие через эту точку, пересекаются с данной прямой»*, на новый пятый постулат о параллельных: *«на плоскости через точку, взятую вне данной прямой, можно провести две и только две прямые, параллельные данной, а также бесконечное множество прямых, которые не пересекаются с данной прямой и ей не параллельны, и бесконечное множество прямых, которые пересекаются с данной прямой»*.

Полное признание и широкое распространение геометрия Лобачевского получила через 12 лет после его смерти, когда стало понятно, что научная теория, построенная на базе некоторой системы аксиом считается только тогда полностью завершённой, когда эта система аксиом удовлетворяет трём условиям: *независимости, непротиворечивости и полноты*.

Доказательство непротиворечивости геометрии Лобачевского проводится с помощью построения интерпретации (модели). Наиболее известные классические *изометричные* (сохраняющие расстояние между точками) модели (интерпретации) плоскости Лобачевского, имеющую *гауссову кривизну*  $K = -1$ : интерпретация Бельтрами в круге; интерпретация Бельтрами гиперболической геометрии на псевдосфере; евклидова модель Кэли-Клейна; проективная модель Кэли Клейна; интерпретация Пуанкаре на полуплоскости; интерпретация Пуанкаре внутри круга; интерпретация Пуанкаре на гиперboloиде.

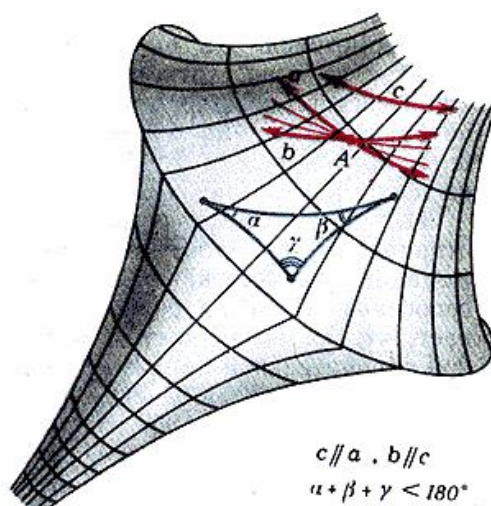
Первой такой интерпретацией явилась интерпретация Бельтрами, где установлено, что в евклидовом пространстве внутренняя геометрия поверхности постоянной отрицательной гауссовой кривизны локально совпадает с геометрией Лобачевского (роль прямых играют

геодезические линии поверхности). Поверхность такого типа называется *псевдосферой*. В 1868 году Бельтрами показал, что геометрия Лобачевского реализуется на псевдосфере. Псевдосферу можно получить вращением трактрисы вокруг оси абсцисс.

*Трактриса* – это кривая, длина касательной к которой постоянна (т.е. отрезок от точки касания до оси абсцисс есть константа).

*Псевдосфера* – поверхность вращения в виде двух сложенных поверхностей.

Прямой линией считаем геодезическую линию – т.е. линию кратчайшего расстояния между точками. Бельтрами показал, что на псевдосфере реализуется часть плоскости Лобачевского. Псевдосфера – поверхность постоянной отрицательной кривизны (т.е. гиперболическая форма), т.к. сумма углов треугольника на ней меньше  $2d$ . Сфера – поверхность положительной постоянной кривизны (сумма углов треугольника больше  $2d$ ). Евклидово пространство имеет нулевую кривизну.



Немецкий математик Феликс Христиан Клейн (1849-1925г) опираясь на исследования Эудженио Бельтрами и французский математик Анри Пуанкаре (1854-1912г) строго доказали непротиворечивость неевклидовой геометрии, построив соответствующие модели плоскости Лобачевского. Истолкование геометрии Лобачевского на поверхностях евклидова пространства решающим образом способствовало общему признанию идей Лобачевского.

Таким образом, геометрия Лобачевского изучает свойства «плоскости Лобачевского» (в планиметрии) и «пространства Лобачевского» (в стереометрии). Плоскость Лобачевского — это

плоскость (множество точек), в которой определены прямые линии, а также движения фигур (вместе с тем — расстояния, углы и пр.), подчиняющиеся всем аксиомам евклидовой геометрии, за исключением аксиомы о параллельных, которая заменяется указанной выше аксиомой Лобачевского. Сходным образом определяется пространство Лобачевского. Задача выяснения реального смысла геометрии Лобачевского состояла в нахождении моделей плоскости и пространства Лобачевского, т. е. в нахождении таких объектов, в которых реализовались бы соответствующим образом истолкованные положения планиметрии и стереометрии геометрии Лобачевского.

Н.И. Лобачевский уже в первой работе по геометрии Лобачевского показал, опираясь на впервые измеренные астрономами в те годы годовичные параллаксы звезд, что если в физическом пространстве реализуется его геометрия, то в пределах Солнечной системы отклонения от евклидовой геометрии будут на несколько порядков меньше возможных ошибок измерений. Таким образом, первым приложением геометрии Лобачевского явилось обоснование практической точности евклидовой геометрии.

Н.И. Лобачевский применял свою геометрию в математическом анализе. Переходя от одной системы координат к другой в своем пространстве, он нашел значения около 200 различных определенных интегралов. Другие математические приложения были найдены А. Пуанкаре, который успешно применял геометрию Лобачевского при разработке теории автоморфных функций.

Значение геометрии Лобачевского для космологии было выявлено А.А. Фридманом. В 1922 он нашел решение уравнения Эйнштейна, из которого следовало, что Вселенная расширяется с течением времени. Это заключение впоследствии было подтверждено наблюдениями Э. Хаббла, обнаружившего разбегание удаленных туманностей. Метрика, найденная А.А.Фридманом, дает при фиксированном времени пространство Лобачевского. Пространство скоростей специальной теории относительности является пространством Лобачевского.

Предположение Лобачевского, что реальные геометрические отношения зависят от физической структуры материи, нашло подтверждение не только в космических масштабах. Современная теория квант все с большей настоятельностью выдвигает необходимость применения геометрии, отличной от евклидовой, к проблемам микромира Геометрия Лобачевского с успехом используется при изучении столкновений элементарных частиц и при разработке других вопросов ядерных исследований.

Геометрия Лобачевского продолжает разрабатываться многими геометрами; в ней изучаются: решение задач на построение, многогранники, правильные системы фигур, общая теория кривых и поверхностей и т. п.

#### **Список информационных источников**

1. Юшкевич А.П. История математики с древнейших времен до начала Нового времени. - М.: Наука, 1970. – 352 с.
2. Александров П.С. Что такое неэвклидова геометрия, – УРСС, Москва, 2007.
3. Шафаревич И. Р., Ремизов А. О. Линейная алгебра и геометрия, – Физматлит, Москва, 2009.

### **ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВОЛОЧНОГО МАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ**

***Строкова А.В., Рогалева Е.В., Федоров Б.В.<sup>1</sup>***

*Тюменский государственный нефтегазовый университет,  
г. Тюмень*

Определение деформации железобетонных конструкций, пластмассовых и композитных материалов можно осуществлять с помощью наклеенных тензодатчиков [1,2]. Надежность использования тензодатчиков обусловлена качеством их приклейки. Они так же нуждаются в соединительных проводах, которые трудносовместимы с динамичностью конструкции. Актуальным является вопрос о создании датчиков, которые не нуждаются в соединительных проводах, а съем информации можно осуществлять с помощью датчиков магнитного поля или катушки. Для таких случаев полезным могли бы быть преобразователи (датчики) в виде магнитной проволоки. Проволочный датчик деформации может быть прикреплен к опорам или приварен к материалу конструкции (образца).

Физической основой работы такого преобразования являются необратимый или квазиобратимый магнитоупругие явления [3]. Магнитоупругое размагничивание ферромагнетика заключается в необратимом изменении остаточной намагниченности при приложении напряжений. Квазиобратимое магнитоупругое явление (пьезомагнитный эффект остаточно намагниченного состояния) заключается в следующем: у некоторых ферромагнитных сплавов после их намагничивания и приложения многократных нагрузок в упругой

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Новиков В.Ф., д.ф.-м.н.

области остаточная намагниченность не исчезает. А последующие нагружения сопровождаются установившимся квазиобратимым изменением намагниченности (и соответственно магнитным полем рассеяния образца).

Целью работы явилось исследование необратимых и квазиобратимых изменений магнитного поля рассеяния проволочного образца из стали К40 при ее деформации.

Образец в виде проволоки диаметром  $d=1\text{мм}$ , длиной  $l=100\text{мм}$  намагничивали постоянным магнитом до насыщения. Измерение нормальной составляющей магнитного поля рассеяния  $H$  осуществлялось с помощью феррозондового магнитометра МЦ-3.003, датчик которого располагался вблизи конца образца. Проволока нагружалась на машине Р50 со скоростью  $v=0,1\text{ мм/мин}$ , в упругой области (до 100, 150 и 190Н). При первом нагружении необратимо снимается часть остаточной намагниченности (своего рода магнитоупругая «память»), а после многократного (до 20 циклов) нагружения происходит квазиобратимое изменение намагниченности.

С помощью компьютерных программ «Испытание металла» и «DigMag3» регистрировалась величина магнитного поля  $H$  и приложенная нагрузка  $F$ . По полученным данным строилась зависимость  $H=f(\sigma)$ .

Деформационное размагничивание образца (необратимое магнитоупругое изменение магнитного поля рассеяния) иллюстрируется рис. 1. На рис. 1 показано, что остаточная намагниченность в начале до нагрузки 600 МПа убывает с увеличением однократно прикладываемых механических напряжений до 50%. При дальнейшем нагружении величина поля остается практически неизменной. Таким образом, разрабатываемый материал способен «запомнить» величину пиковых напряжений в диапазоне 0- 500МПа.

Характер квазиобратимого изменения магнитного поля рассеяния показан на рис. 2. Видно, что с увеличением нагрузки нормальная составляющая магнитного поля рассеяния  $H$  монотонно растет. Затем с уменьшением нагрузки напряженность поля уменьшается до первоначального значения. При разгрузке напряженность поля имеет более высокие значения, чем при нагружении. Поэтому зависимость  $H(F)$  представляет собой петлю магнитоупругого гистерезиса. Опыт показал, что с увеличением максимального напряжения в диапазоне от 100 до 190 ньютон петля становится уже.

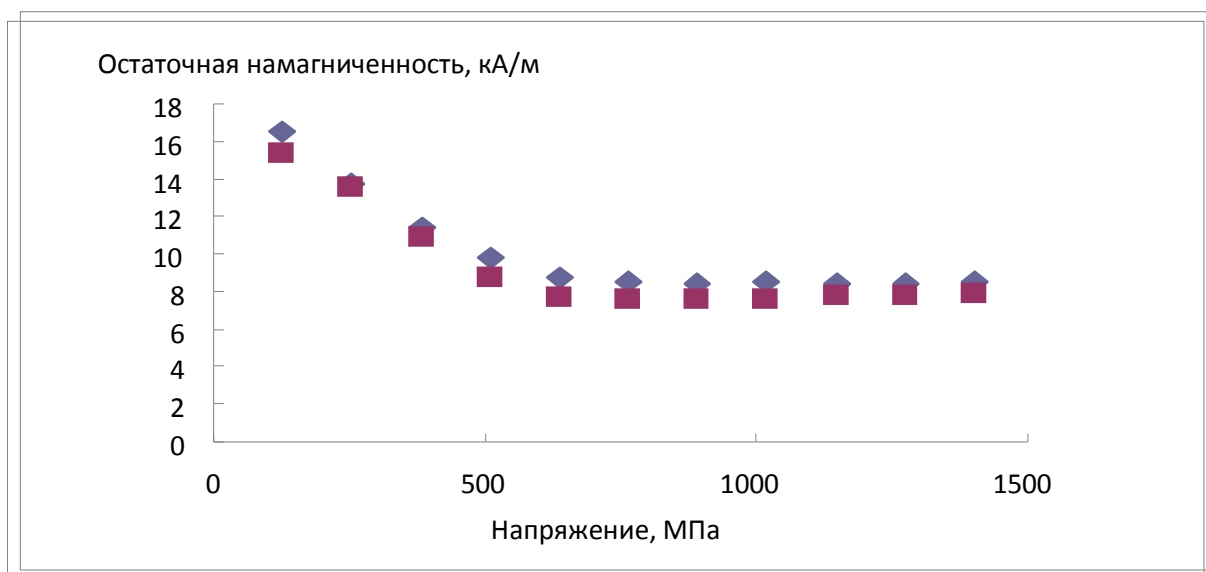


Рис.1. Зависимость локальной остаточной намагниченности (кА/м) от напряжения (МПа) для двух образцов, отпущенных при 400<sup>0</sup> С

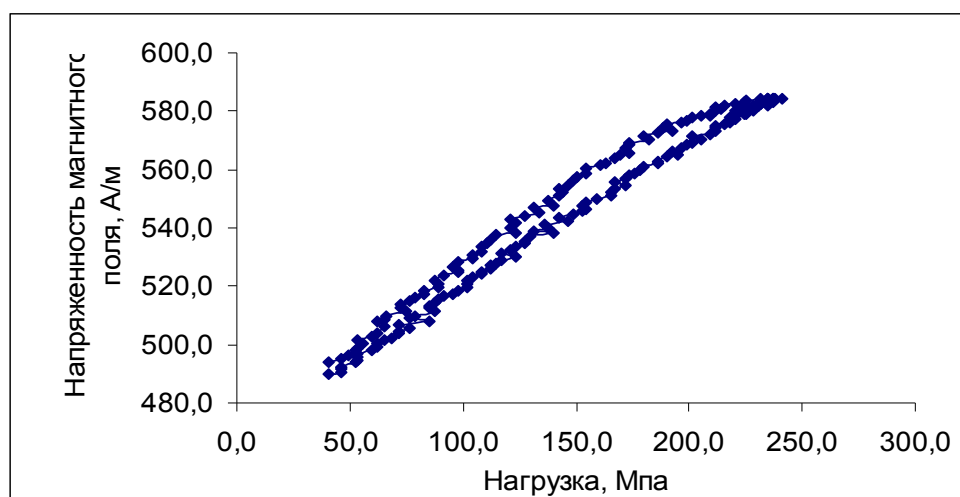


Рис. 2.Связь между величиной нагрузки и напряженностью магнитного поля рассеяния для образца К 40 , отпущенного при температуре 600<sup>0</sup> С

Строили линии тренда (рис.3) для кривых нагружения и разгружения и составим уравнения, в котором допускалось, что зависимость напряжения от напряженности магнитного поля близка к линейной.

По аппроксимированным кривым определялась тензочувствительность материала при различных значениях прикладываемых напряжений. Из таблицы 1 видно, что с увеличением нагрузки величина  $d\sigma/dH$  растет, что отражает нелинейность характера зависимости  $H(F)$ .

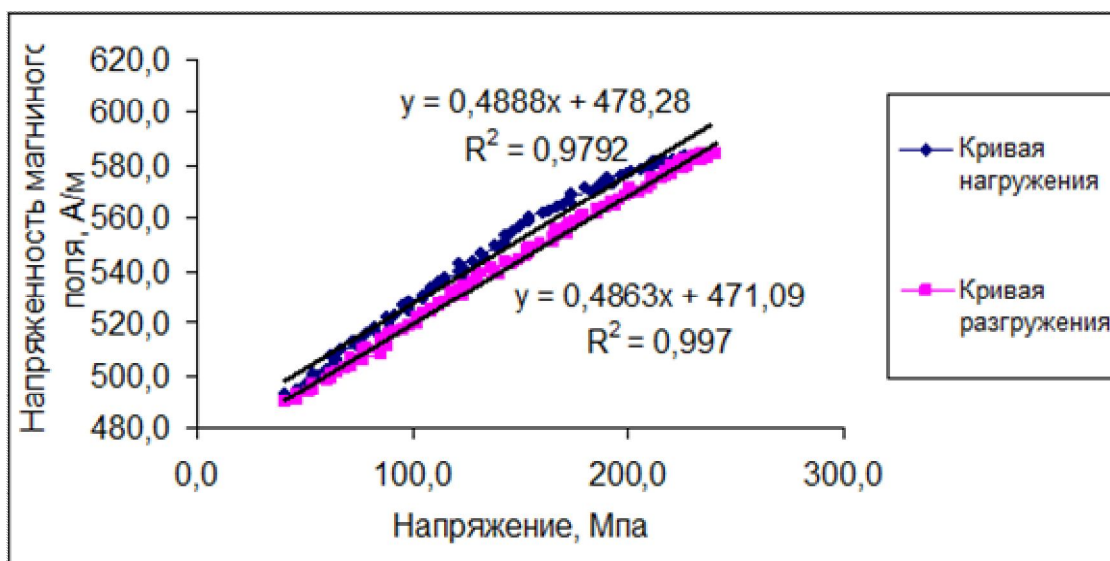


Рис. 3. Построение линий тренда по кривым нагружения и разгружения при  $F_{\max}=190\text{H}$

Таблица 1  
Изменение тензочувствительности материала  
от величины приложенной нагрузки

	100H	150H	190H
$H_{\text{нач}}, \text{A/м}$	454,6	513	494
$H_{\text{max}}, \text{A/м}$	507,1	588,1	584,5
$\sigma_{\text{нач}}, \text{Мпа}$	39,5	40,7	40,76
$\sigma_{\text{max}}, \text{Мпа}$	130,3	194,90	240,76
$d\sigma/dH$	1,73	2,05	2,2

## Выводы

Показано, что сталь К40, отпущенная при  $600^{\circ}\text{C}$  обладает необратимым магнитоупругим эффектом и может быть использована для создания запоминающего пикового датчика деформации (силы), а тот же материал, отпущенный при  $600^{\circ}\text{C}$ , обладает пьезомагнитным эффектом и может быть использован для создания преобразователя деформации (силы) для работы в режиме on-line.

## Список информационных источников

1. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. Москва: Машиностроение 1983г., 248с.
1. Ботвина Л. Р. Разрушение: кинетика, механизмы, общие закономерности. Москва: Наука, 2008г., 334с.
2. Новиков В.Ф., Бахарев М.С. Магнитная диагностика механических напряжений в ферромагнетиках. Тюмень: Вектор Бук, 2001г., 220 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ СВИНЦА С ПОМОЩЬЮ КАТИОНИТА КУ-2

*Татарина Е.Н.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Кислотные свинцовые аккумуляторы находят широкое практическое применение в качестве вторичных химических источников тока благодаря сравнительно высокой удельной мощности в сочетании с надежностью и относительно низкой стоимостью. В технологическом процессе производства свинцово-кислотных аккумуляторов образуются сточные воды, которые имеют повышенное содержание примесей свинца, превышающее ПДК в несколько раз. В сточных водах аккумуляторных заводов, некоторых металлургических заводов содержание свинца может достигать десятков мг/л. Содержание свинца в природных водах не превышает нескольких десятков мкг/л. ПДК свинца в питьевой воде согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 составляет 0,03 мг/л, в водоемах санитарно-бытового пользования – 0,1 мг/л. Соединения свинца токсичны, способны накапливаться в организме, поэтому проблема удаления примесей свинца из сточных вод имеет большое значение [1].

Существуют различные методы извлечения металлов из растворов. В настоящее время разрабатываются эффективные способы очистки от примесей свинца, позволяющие сделать производственный цикл водооборота замкнутым и использовать сточные воды в технических целях. Определенный представляют интерес методы сорбции и ионного обмена.

Ионообменная очистка применяется для извлечения из вод металлов (Zn, Cu, Cr, Fe, Rb и т. д.) [2]. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды. Ионный обмен широко распространен при обессоливании в процессе водоподготовки. Ионный метод представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать ионы, содержащиеся в ней, на другие ионы, присутствующие в растворе. Иониты, которые способны поглощать из растворов электролитов положительные ионы, называются катионитами, отрицательные ионы – анионитами. Первые обладают кислотными свойствами, вторые – основными.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Назаренко О.Б., д.т.н., профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ



В данной работе исследована эффективность очистки модельных растворов от примесей свинца с помощью катионита КУ-2.

Для определения свинца в водных растворах использовали сульфарсазеновый метод, который используется применительно к природным водам и в данной работе опробован для сточных вод.

Сущность метода: предварительно выделенный путем осаждения с карбонатом кальция и переведенный в солянокислый раствор, свинец подвергается экстрагированию дитизоном в четыреххлористом углероде при рН 9,2–9,3. Образовавшийся дитизонат свинца разрушается соляной кислотой. В дальнейшем проводится колориметрическое определение, основанное на образовании при рН раствора 7,0–7,3 соединения свинца с сульфарсазеном, окрашенного в желто-оранжевый цвет.

Для работы был выбран катионит КУ-2.

Для приготовления рабочего раствора 0,5%-го раствора нитрата свинца взяли 10 г  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , взвешенные на технико-химических весах с точностью 0,02 г, растворили при комнатной температуре в мерной колбе на 2000 мл, доведя объем до метки дистиллированной водой.

Свинец азотнокислый (нитрат свинца)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  – бесцветные или белые кристаллы кубической системы. Удельный вес 4,5. Довольно легко растворим в воде, нерастворим в спирте, плохо растворим в метиловом спирте (1,35 %). При нагревании выше 2000 °С распадается на  $\text{PbO}$ ,  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_2$ .

Для проведения исследовательской работы использовалась дистиллированная вода.

К 100 мл рабочего раствора прибавляли добавки катионита КУ-2 в количестве 1 и 3 г.

По истечении суток остаточную концентрацию свинца в растворах определяли методом осаждения. Для этого растворы отфильтровывали через фильтровальную бумагу (белая лента). Фильтраты проб разбавили дистиллированной водой в мерных колбах на 200 мл, доведя объем до метки, и добавили в каждый вариант 5 мл 10%-го раствора гидроксида натрия. При этом растворы проб 1, 2, 3, 7, 8 оставались визуально прозрачными, остальные же в большей или меньшей степени мутнели ввиду образования осадка гидроксида свинца (II).

Свинца гидроксид  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  – белый микрокристаллический порошок со слабощелочной реакцией; на воздухе поглощает  $\text{CO}_2$ , переходя в углекислую соль. В воде практически нерастворим ( $\text{ПР}=3 \times 10^{-16}$ ). При 100 °С постоянен, при 130 °С начинается обезвоживание, заканчивающееся при 145 °С. Обладает амфотерными

свойствами и может вести себя как слабая кислота  $\text{H}_2\text{PbO}_2$  с константой диссоциации  $K = 2,1 \times 10^{-16}$  при 25 °С.

Растворы были оставлены еще на сутки для отстаивания. Фильтры взвесили для каждого варианта на химико-аналитических весах с точностью 0,00005 г. Затем отфильтровали все растворы через взвешенные фильтры. Фильтры с осадками высушили при комнатной температуре и вновь взвесили.

Результаты опытов представлены в таблице.

Таблица

Степень очистки раствора нитрата свинца на катионите КУ-2

Наименование вводимой добавки	Количество вводимой добавки	Масса фильтра, г	Масса фильтра с осадком, г	Масса осадка, г	Степень очистки, %
Катионит КУ-2	1 г	0,62745	0,64200	0,01455	89,4
Катионит КУ-2	3 г	0,63440	0,63920	0,00480	96,5

Таким образом, проведенные испытания показали, что катионит КУ-2 (1 г) обладает эффективностью очистки от свинца 84,9 %, а КУ-2 (3 г) – 96,5 %.

Катионит КУ-2 широко используется в серийном производстве и имеет не плохую эффективность, но его недостатком является сравнительно высокая себестоимость. Поэтому дальнейшие исследования направлены на поиск и разработку более дешевого и эффективного сорбента, в частности, планируется исследовать эффективность очистки сточных вод на природных цеолитах.

#### Список информационных источников

1. Бокрис Дж.О.М. Химия окружающей среды / Под ред. А.П. Цыганкова. – М.: Химия, 1982. – 672с.
2. Очистка производственных сточных вод: учебное пособие для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков и др.; 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.

## РЕДУКТОРОСТРОЕНИЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

*Темпель Р.В.<sup>1</sup>*

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

С развитием общего и специального машиностроения роль зубчатых передач, трансформирующих механическую энергию по частоте вращения и передаваемым нагрузкам, всё более и более возрастает. При этом особенно увеличивается потребность в высокоскоростных (окружная скорость до 225 м/с) и тяжелонагруженных (мощность до 110МВт) передачах, характеризующихся снижением уровня вибрации и шума. Традиционные зубчатые передачи с линейным зацеплением эвольвентных зубьев не могут в полном объеме соответствовать вышеуказанным требованиям. Поэтому на протяжении XX века, особенно во второй его половине, неоднократно предпринимались попытки создания новых конструкций с новыми видами зацеплений и новыми профилями зубьев. Так, были разработаны зубчатые зацепления с арочными (рис. 1, а), эволютными (рис. 1, б), энкаитными профилями зуба, передача Новикова (рис. 1, в).

Однако все эти разработки остались в стороне в силу того, что они не в состоянии были удовлетворять современным требованиям, предъявляемым к зубчатым передачам, т.е. не смогли заменить традиционные передачи с линейным зацеплением.

Негативные оценки классических зубчатых передач уместны лишь в том случае, если они подразумевают традиционный линейный, но не точечный контакт зубьев. Исходя из классической теории контактной прочности упруго-сжатых тел, разработанной Герцем, максимальные контактные напряжения при точечном взаимодействии тел достигали очень больших величин, которые намного превышали таковые при линейном контакте тел. Это легло в основу того, что точечный контакт зубьев хуже линейного контакта.

---

*<sup>1</sup>Научный руководитель: Логвинова Н.А. , ст. преподаватель кафедры механики и инженерной графики МиИГ*

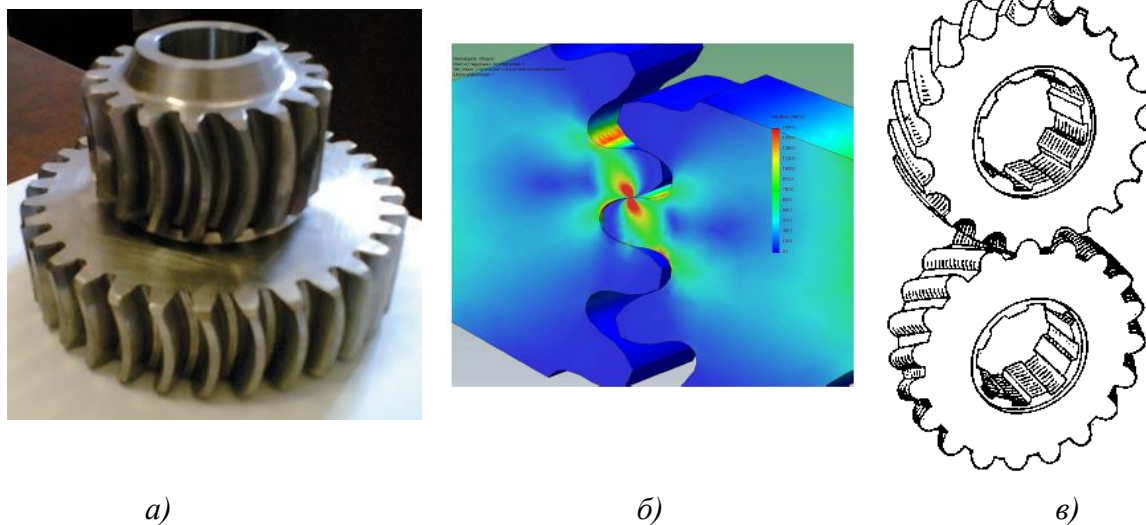


Рис. 1. Виды зубчатых передач

Профессор Алексей Попов, работая над усовершенствованием зубчатых передач, поставил под сомнение этот постулат. Он пришел к выводу о предпочтительности точечного контакта, который и лег в основу новой теории контактной прочности упруго сжатых тел. Принципиальные отличия новой теории контактной прочности от классической – в двух основополагающих моментах. Во-первых, в классической теории Герца не просматривается взаимосвязь между полуосями эллиптической площадки деформации и приведенными радиусами кривизны в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а во-вторых, в ней отсутствует причинно-следственная связь между функциями контактных деформаций и контактных напряжений. На её базе впоследствии была разработана зубчатая передача с точечной системой зацепления. Нагрузочная способность у нее до 2,3 раза выше, чем у традиционных зубчатых передач, а массогабаритные показатели на 30 – 40% ниже, также снижается вибрация и шум.

Так уж повелось, что все новое и прогрессивное с трудом пробивает себе дорогу. Вот и в этом случае многие коллеги профессора Попова отказывались верить расчетам. Позиции противников точечного зацепления эвольвентных зубьев были сломлены только после успешных испытаний.

Был создан двухступенчатый прямозубый редуктор с зубьями внешнего зацепления (рис. 2). Нагрузочная способность опытного образца, по сравнению со штатным редуктором, по контактным напряжениям оказалась выше в 2,25 раза, а по напряжениям изгиба – в 1,7. В ходе испытаний редуктор проработал 128 миллионов циклов, что соответствует нормам. Уровень шума и вибрации нового изделия ниже

на 12 децибел. На сегодняшний день редуктор с такими высокими нагрузочными характеристиками не имеет аналогов в мировом редукторостроении.



Рис. 2. Редуктор

Алексей Попов считает, что полноценной победой новой теории был бы запуск редуктора с новым типом зацепления в серийное производство. Однако внедрение в производство зубчатых передач с пространственной точечной системой зацепления зубьев сдерживается отсутствием на предприятиях дорогостоящего оборудования. Конкретно высокоточных зубошлифовальных станков. Предвидя такую ситуацию, профессор Попов разработал еще один вариант зубчатой передачи с пространственно-точечной системой зацепления. Суть ее в том, что зубья шестерни повернуты относительно зубьев колеса на определенный угол. Для изготовления данных колёс уже могут использоваться станки отечественного производства.

Алексей Павлович Попов является профессором Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев. Академик Академии наук судостроения Украины, заведующий кафедрой механики и конструирования машин. На счету Алексея Павловича более 400 научных работ и 150 изобретений.

#### **Список информационных источников**

1. Андриенко Л.А., Бойков Б.А., Ганулич И.К. и др.; Под ред. Ряховского О.А. Детали машин: Учеб. Для вузов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 544 с.
2. <http://www.eutg.net.ru>
3. <http://www.inno.ru>

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ИНВОЛЮЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ

**Тухватулин С.Ф., Фомина Я.Е.<sup>1</sup>**

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

Конструирование технических поверхностей сводится к конструированию линий, принадлежащим поверхностям. Существует достаточно много способов получения кривых. Технические кривые в большинстве случаев представляются в виде составных обводов определенного порядка гладкости. Наибольшее применение при конструировании кривых получили методы сплайн-функций и кривых второго порядка. Однако, кривые второго порядка не могут иметь точек перегиба. Сплайн-функции, наоборот, часто дают кривые с нежелательными точками перегиба. Кроме того, данные способы позволяют получать кусочные кривые. В различных расчетах важно иметь кривые, которые описываются одним уравнением. Составляющие обводов зачастую выбираются без необходимого геометрического обоснования. В результате этого обвод не отвечает своему функциональному назначению, а число составляющих является завышенным. Поэтому поиск метода получения кривых  $v$ , который был бы достаточно универсальным и простым, остается актуальным.

Наиболее подходящим способом, на наш взгляд, является конструирование кривых на основе нелинейных преобразований, когда конструируемая кривая получается как образ прямой или более простой кривой [1, 2]. Причем желательно, чтобы аппарат преобразования включал в себя простые геометрические образы (прямые, окружности, параболы). Наиболее простыми являются преобразования, расслаивающиеся в пучках параллельных прямых на центральные симметрии. Для случая, когда носителем центров симметрий является парабола  $n$ -го порядка, операторы преобразования имеют вид:

$$\begin{aligned}x' &= x, \\y' &= 2ax^n - y.\end{aligned}$$

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Боровиков И.Ф., к.т.н., доцент кафедры механики и инженерной графики МиИГ

Если в качестве прообраза выбрать прямую, то ее образом будет кривая  $n$ -го порядка. Кривой  $n$ -го порядка, взятой в качестве прообраза, будет соответствовать кривая порядка  $n^2$ .

Аэро-гидродинамические профили являются замкнутыми кривыми. Для их конструирования необходимо учесть следующие факторы.

1. Кривая, являющаяся прообразом должна быть замкнутая.
2. Построение прообраза должно быть простым.
3. Порядок прообраза не должен быть высоким, так как кривая-образ в случае высокого порядка может иметь нежелательные особенности, например, осцилляции.

При проведении исследований в качестве прообраза выбирались различные кривые: окружности, эллипсы, строфоиды, овалы Кассини. В качестве окончательного варианты были выбраны окружности. Это объясняется следующими факторами:

- окружность проста в построении;
- все окружности проходят через циклические точки плоскости, вследствие чего их прообразы в нелинейной инволюции будут рациональными циркулярными кривыми, которые обладают наиболее хорошими аэро- и гидродинамическими свойствами, то есть являются наиболее «гладкими» кривыми.

Таким образом, изменяя положение окружности и ее радиус можно добиться максимального приближения замкнутого контура к заданному точечному массиву. При выборе радиуса целесообразно для заданных точек профиля найти образы в преобразовании и затем, пользуясь методом наименьших квадратов, построить окружность–прообраз.

Если в качестве прообраза выбрать замкнутую кривую, составленную из дуг окружностей, то ее образом будет являться обвод, составляющими которого будут образы дуг окружностей в нелинейной инволюции.

Данный подход достаточно просто реализовать в виде программы, что позволяет использовать его при конструировании сложных технических форм.

#### **Список информационных источников**

1. Иванов Г.С. Конструирование технических поверхностей (математическое моделирование на основе нелинейных преобразований). – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Моденов П.С., Пархоменко А.С. Геометрические преобразования. – М.: МГУ, 1961. – 232 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ

*Фоминцева Ю.В., Стаднюк Е.И.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Исследования проводились на базе ЗАО «Синтез НДТ», г. Санкт-Петербург, работающего в области радиационных методов неразрушающего контроля.

Основным направлением производственной деятельности ЗАО «Синтез НДТ» является разработка и изготовление высоковольтных источников питания для источников рентгеновского излучения и для других применений в промышленности и в научных исследованиях.

Источники излучения, разработанные и изготовленные ЗАО «Синтез НДТ», применяются:

- как переносные рентгеновские аппараты;
- в составе кроулеров (самоходных дистанционно управляемых роботов) для контроля сварных швов строящихся трубопроводов;
- в качестве стационарных аппаратов в системах для неразрушающего контроля;
- в спектрометрах для анализа элементного состава минерального сырья в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности;
- для анализа состава лакокрасочных покрытий при реставрации произведений живописи;
- в дифрактометрах, используемых для ориентации кварцевых пластин в электронной промышленности и других областях неразрушающего контроля, рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа;
- в экспериментальных установках для физических исследований и т.д.

Работа проводилась в рамках производственной практики.

Практика является неотъемлемой частью основной образовательной программы высшего профессионального образования, обеспечивающая передачу и усвоение конкретных умений и/или навыков данной конкретной области.

Если целью учебной практики является получение общих представлений о специальности, то целью производственной практики – получение практических знаний, навыков и умений в процессе работы, сочетающей обучение с производственным трудом.



Задачи производственной практики:

- закрепление знаний, полученных при освоении профессионально-ориентированных дисциплин;
- изучение структуры предприятия, организации научно-исследовательской, проектно-конструкторской, технологической и метрологической деятельности отдельных подразделений и служб;
- освоение основных методов технического контроля и испытаний деталей и узлов, технологического оборудования;
- принятие участия в конкретном производственном процессе или исследовании.

Как уже было сказано выше, предприятие, на котором проводилась работа, занимается не только изготовлением, но и разработкой оборудования. Так в недавнем времени были усовершенствованы переносные рентгеновские аппараты РПД–250(С) с боковым выходом излучения и РПД–250П(СП) с панорамным выходом.

В связи с этим, была поставлена цель: исследовать возможности этих аппаратов и сравнить с аналогами.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- проведение радиографического контроля стальных изделий разной толщины при помощи рентгеновских аппаратов постоянного потенциала «РПД–250(С)» и «РПД–250П(СП)» (модель 2012 г.), включающий:
  - подбор параметров экспозиции;
  - выбор схемы контроля;
  - проявку рентгеновских снимков;
  - оценку полученных плотностей снимков на негатоскопе;
- обработка результатов контроля и построение номограммы для рентгеновских аппаратов «РПД–250(С)» и «РПД–250П(СП)»;
- исследование применимости цифровых методов обработки радиографических данных.

Для этого, сначала с использованием РПД–250(С), а затем РПД–250П(СП), и радиографической пленки марки STRUCTURIXD7 сделали серию радиографических снимков с разными значениями экспозиций, которые были выбраны при помощи эталонной номограммы. Далее воспользовавшись денситометром (прибором для измерения степени затемнения или оптической плотности фотографических материалов) и негатоскопа (устройства, предназначенного для просмотра на просвет радиографических снимков) определили оптическую плотность

снимков. После этого по значениям параметров радиационного контроля строили номограммы и, сравнивая их с эталонными.

Так, в случае РПД-250(С), исследования показали, что внесенные в аппарат изменения оказались незначительными, поскольку номограмма нового аппарата практически не отличалась от эталонного (указанные номограммы можно увидеть на рис.1 и 2 соответственно).

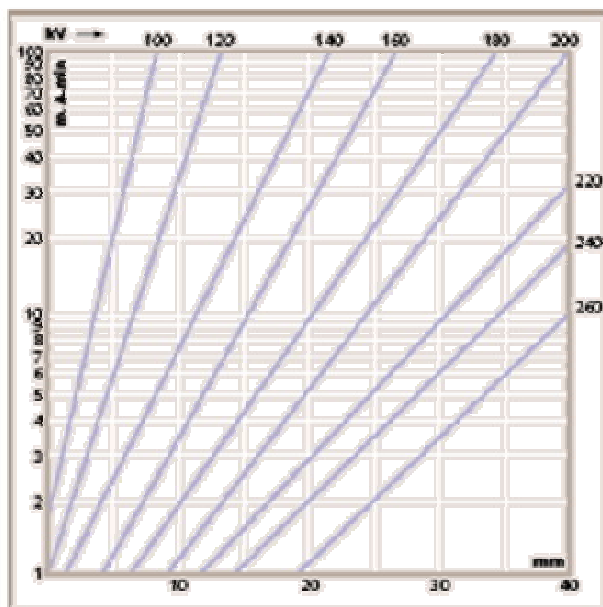


Рис.1. Эталонная номограмма для РПД-250 (С) и пленки марки STRUCTURIXD7

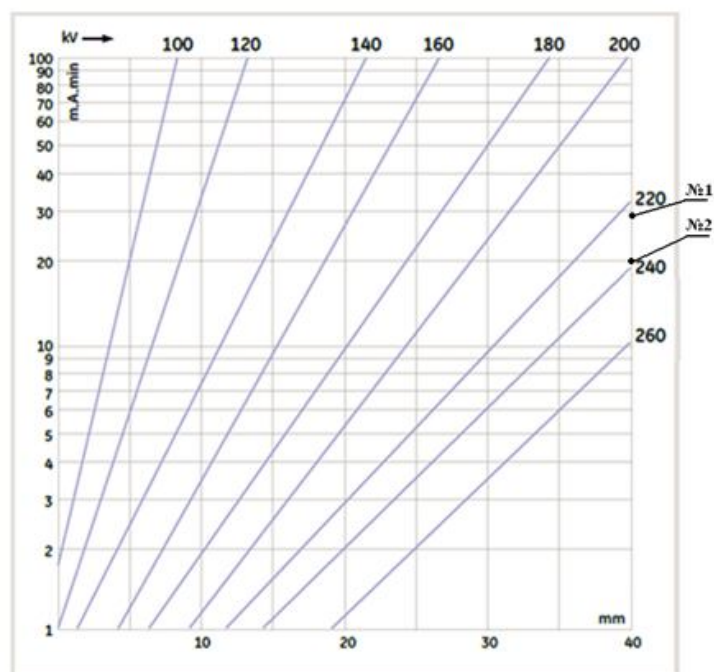


Рис.2. Номограмма для РПД-250 (С) и пленки марки STRUCTURIXD7

Что касается, РПД – 250П(СП), то данные показали, что переносной аппарат отличается повышенной мощностью. В этом можно убедиться, проведя сравнительный анализ между номограммой для обычного аппарата и усовершенствованного (номограммы представлены ниже рис. 3 и 4 соответственно).

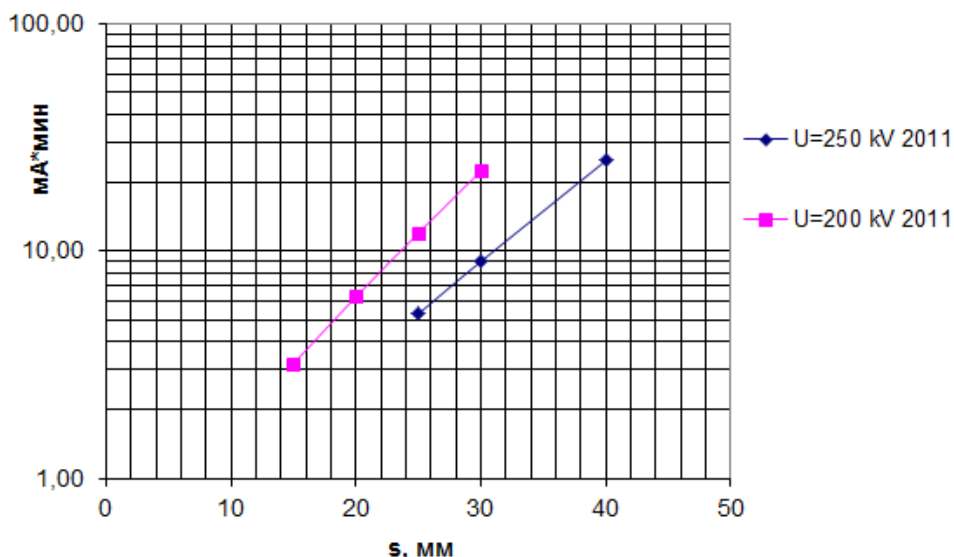


Рис.3. Номограммы для РПД-250 П (СП) и пленки марки STRUCTURIXD7

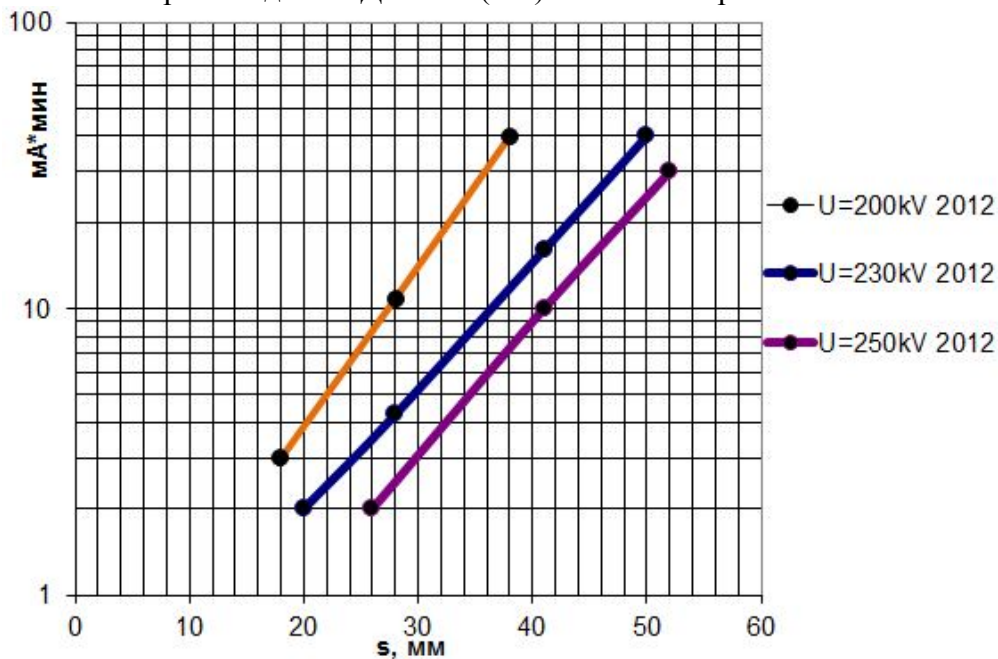


Рис. 4. Номограммы для нового аппарата РПД-250 П (СП)

Исследования, которые были описаны выше, проводились с помощью пленочного метода радиографии. Несмотря на то, что сегодня существует более современный способ – цифровая радиография, пленочный метод остается наиболее распространенным.

Цифровая радиография использует цифровые детекторные системы (плокопанельные и линейные).

В ходе работы, для сравнения результатов, использовался детектор типа RIDO 1640. Примеры снимков можно увидеть на рис. 5 и 6.



Рис. 5. Снимок, полученный с помощью плоскопанельного детектора RID 1640



Рис. 6. Снимок, полученный с помощью плоскопанельного детектора RID 1640

Цифровая радиография обладает существенными преимуществами перед пленочной технологией:

- не требует фотолабораторий, химикатов, соответствующего персонала и т. п.;
- каждая пластина может использоваться несколько тысяч раз;
- время экспозиции по сравнению с пленкой в несколько раз меньше.

После работы с пленочным методом радиографии мы на собственном примере убедились в преимуществах цифрового метода.

# МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ Р6М5

*Хамматов А.Н.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Износостойкость материалов является одним из важнейших показателей их качества. Такие показатели как прочность и твёрдость, а также характеристики структуры далеко не всегда дают достаточно информации для предсказания поведения материала в условиях абразивного износа.

Большой интерес представляет износостойкость покрытий, полученных плазменно-порошковой наплавкой стали Р6М5 на низкоуглеродистую основу.

Целью работы является исследование износостойкости покрытия, полученного плазменно-порошковой наплавкой стали Р6М5 на низкоуглеродистую основу.

Наплавку порошка (размер гранул 100...350 мкм) стали Р6М5 на пластины из стали 20 толщиной 10 мм производили с использованием установки УПН-303УХЛ4 по режимам, приведённым в таблице 1. Расход плазмообразующего газа составил 2 л/мин, транспортирующего – 10...16 л/мин, расход порошка 1,9 кг/ч. Структурные исследования протравленных образцов проводили с использованием оптического микроскопа OLYMPUS GX51. Травление осуществляли методом окунания в нагретый до 60° раствор  $K_3[Fe(CN)_6]:KOH:H_2O=1:1:10$ .

Таблица 1  
Режимы плазменно-порошковой наплавки

№ п.п.	Сила тока, I, А	Скорость сварки, $v_{св}$ , см/с	Плотность эффективной энергии, Q, кДж/см
1	180	0,17	24,5
2	200	0,17	28,2
3	220	0,17	32,1
4	220	0,21	25,9
5	180	0,13	32,1
6	200	0,13	36,9
7	200	0,21	22,8

Испытания на износ проводили по ГОСТ 23.208-79. В качестве абразива использовали песок кварцевый и электрокорунд зернистостью не

<sup>1</sup> Научный руководитель: Хайдарова А.А., к.т.н., доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства ИНК ТПУ

более 400 мкм. Вес образцов измеряли с помощью аналитических весов ОНАUSPioneerPA-214.

Большинство исследователей устанавливают связь между твердостью материала и его износостойкостью [1-3]. В работе при анализе влияния твердости наплавленного металла на его износостойкость прямой зависимости обнаружено не было. Твердость может оказывать определяющее влияние на первой стадии изнашивания при вдавливании абразивных частиц в поверхность материала. На второй стадии – перемещение твердой абразивной частицы по поверхности трения – сопротивляемость разрушению определяется другими свойствами материала и имеет более сложный механизм. Здесь необходимо в комплексе учитывать объем карбидной фазы, размеры промежутков между карбидами, механические свойства матрицы, размер, твердость и геометрическую форму абразивных частиц.

При анализе абразивных частиц, используемых в работе, было выявлено, что частицы кварцевого песка ( $\text{SiO}_2$ ) имеют округлую геометрическую форму без острых граней (рис. 1,а). Средний размер частиц находится в пределах 100...300 мкм. Твердость  $\text{SiO}_2$  равна 1100 HV, что меньше твердости определяемых в стали эвтектических карбидов типа  $\text{M}_6\text{C}$  и карбидов ванадия и сравнимо с твердостью карбидов.

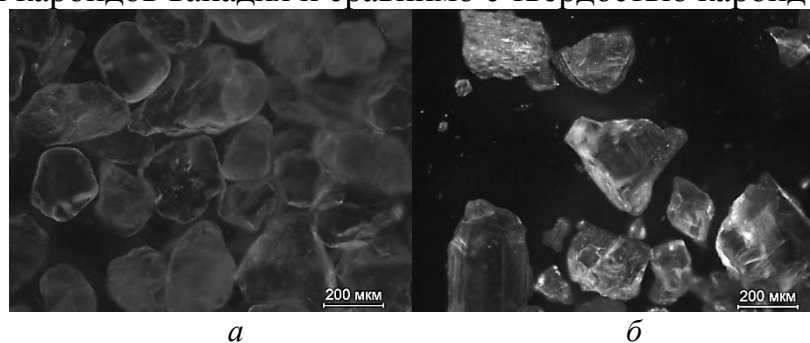


Рис. 4. Микрофотография частиц абразива  $\text{SiO}_2$  (а) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (б)

При изнашивании наплавленного материала такими частицами коэффициент износостойкости при увеличении объемной доли карбидов типа  $\text{M}_6\text{C}$  снижается на 20...40%. Увеличение изнашивания может быть связано с деформацией поверхностных слоев. Так как размеры частиц кварцевого песка в 6...12 раз больше размеров зерен нагрузки при трении воспринимают карбиды, действующие как выступы над поверхностью, а изнашиваемый материал при этом испытывает упругие и пластические деформации. По данным работ [1,2] наличие деформаций приводит к нарушению структуры, возникновению дислокаций и микротрещин. Это обусловлено возникновением максимальных напряжений в межатомных связях: атомы сдвигаются от положения равновесия, энергия распада

межатомных связей уменьшается, а число разрывов увеличивается. Предположительно изнашивание происходит путем многоциклового разрушения, твердые армирующие выступы карбидов дробятся на мелкие частицы и срываются с поверхности, увеличивая износ.

Применение электрокорунда ( $Al_2O_3$ ) в качестве абразива увеличивает износ в 3...6 раз. Подобное изнашивание объясняется геометрической формой и механическими свойствами частиц  $Al_2O_3$ . Абразивные частицы имеют неправильную форму с острыми гранями (рис. 1,б) размером от 50 до 400 мкм. Твердость абразива находится в пределах 2100...2200 HV. Под воздействием таких частиц наряду с пластическим деформированием и многоцикловым разрушением происходит процесс микрорезания металла. Острые грани электрокорунда в этом случае способны воздействовать на стальную связку, в результате чего происходит интенсивное оголение и отрыв карбидных зерен.

Согласно исследованиям [4] интенсивность изнашивания в значительной степени зависит от структурных превращений в связующей фазе в процессе износа. Под воздействием абразива поверхностные слои аустенитно-мартенситных сплавов упрочняются вследствие возникновения больших пластических деформаций при контактном взаимодействии трущихся материалов. При анализе изменения микротвердости по глубине наплавленного слоя после износа было выявлено повышение твердости наплавленного металла на 20%. Изменение микротвердости по толщине наплавки в зависимости от расстояния до границы сплавления, представленное на рис. 2,а свидетельствует об упрочнении объема материала на глубину до 15 мкм.

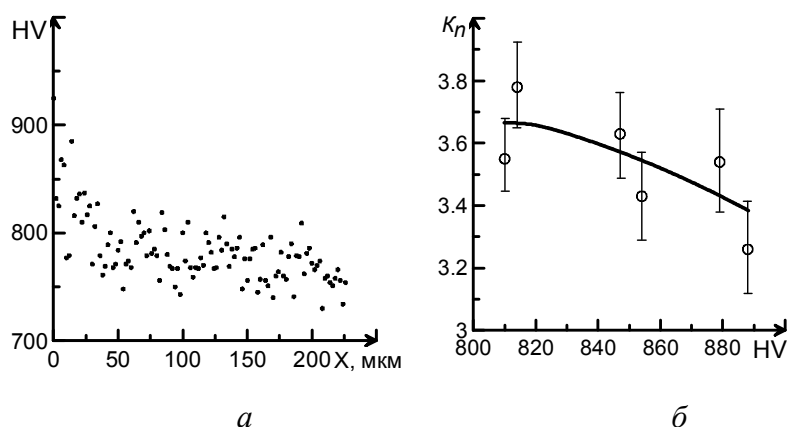


Рис. 2. Изменение микротвердости по глубине наплавленного металла после износа (а), зависимость коэффициента изностойкости от твердости наплавленного металла

Было замечено, что с повышением степени упрочнения металла, износостойкость уменьшалась (рис. 2,б). Это может свидетельствовать о том, что пластические деформации испытываемой поверхности способствовали хрупкому разрушению материала.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что интенсивное контактное взаимодействие наплавленного металла с абразивом способствует упрочнению поверхностного слоя на глубину до 15 мкм, при этом наблюдается увеличение износа при контакте наплавленной поверхности с абразивом, имеющим острые грани.

#### **Список информационных источников**

1. Медеяев И.А., Албагачиев А.Ю., Сорокин Г.М. Физическая природа разрушения материалов // Трение и износ. – 2004. – Том 25. – №2. – С. 148-153.
2. Мешков В.В., Варца Р.С., Гордиенко Б.А. Моделирование внедрения абразивной частицы в упругопластичный материал // Трение и износ. – 2005. – Том 26. – №6. – С. 608-614.
3. Nutching I.M. Abrasion in wear and manufacturing processes // Metal. Ital. – 2002. – №2. – P. 17-21.
4. Кульков С.Н., Гнусов С.Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама / Отв. ред. Е.Ф. Дударев. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 240 с.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА**

*Хапова Е.С.<sup>1</sup>, Халдина Е.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

В работе приводятся математическая модель и результаты расчетов распространения верхового лесного пожара по осредненной по высоте полого леса постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров [1-3]. Пусть начало системы координат  $x_1, x_2, x_3=0$  связано с центром источника возникновения лесного пожара, ось  $Ox_3$  направлена вверх, а оси  $Ox_1$  и  $Ox_2$  -параллельно поверхности земли (ось  $x_1$  совпадает с направлением ветра). В связи с тем, что горизонтальные размеры лесного массива много больше вертикального размера, общая трехмерная система дифференциальных уравнений, описывающая процессы тепломассопереноса в лесном

---

*<sup>1</sup> Научный руководитель: Перминов В.А., д.ф.-м.н., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ*



массиве [1,3], может быть проинтегрирована по вертикальной координате  $x_3$ . Осреднение исходных характеристик по высоте полога леса  $h$  произведено с целью упрощения математической постановки задачи. Приводя основную систему уравнений дивергентному виду [2], проинтегрируем, ее по высоте полога леса. Считается, что: 1) течение носит развитый турбулентный характер и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным, 2) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости течения по сравнению со скоростью звука, 3) среда находится в локально-термодинамическом равновесии, 4) известна скорость ветра над напочвенным покровом в невозмущенных условиях, 5) газодисперсная смесь бинарна и состоит из частиц конденсированной фазы, а также газовой фазы - компонентов кислорода, газообразных горючих и инертных компонентов, 6) характерные размеры лесного массива в горизонтальном направлении превышают высоту полога леса. Математически задача сводится к решению следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_j) = \dot{m} - (\dot{c}^- - \dot{c}^+) / h, j = 1, 2, i = 1, 2, 3; \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \bar{v}_i' \bar{v}_j') - \rho s c_d v_i |\bar{v}| - \rho g_i - \dot{m} v_i + (\tau_i^- - \tau_i^+) / h; \quad (2)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho c_p \bar{v}_j' \bar{T}') + q_s R_s - \alpha_v (T - T_s) + (q_T^- - q_T^+) / h + k_g (c U_R - 4 \sigma T^4); \quad (3)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \bar{v}_j' \bar{c}_\alpha') + R_{5\alpha} - \dot{m} c_\alpha + (J_\alpha^- - J_\alpha^+) / h, \alpha = 1, 5; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_j} \right) - k c U_R + 4 k_s \sigma T_s^4 + 4 k_g \sigma T^4 + (q_R^- - q_R^+) / h = 0, k = k_g + k_s; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (c U_R - 4 \sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s); \quad (6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0; \quad (7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^5 c_\alpha = 1, p_e = \rho R T \sum_{\alpha=1}^5 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \bar{v} = (v_1, v_2, v_3), \bar{g} = (0, 0, g), \dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3 + R_{53} + R_{54},$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5, R_{52} = \nu(1 - \alpha_c) R_1 - R_5, R_{53} = \alpha_6 R_1, R_{54} = \frac{\alpha_4 w}{w + w_*} R_3, R_{55} = 0.$$

Значение температуры в очаге зажигания  $|x_1| \leq \Delta_x, |x_2| \leq \Delta_y$ , задается в зависимости от времени внутри расчетной области. В представленной выше постановке задачи используются следующие обозначения:  $R_1 - R_5$ ,  $R_{5\alpha}$  — массовые скорости пиролиза лесных горючих материалов, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза, образования сажи и пепла и образования  $\alpha$  — компонентов газодисперсной фазы;  $t_0$  — время формирования очага горения,

$c_{pi}$ ,  $\rho_i$ ,  $\varphi_i$ —удельные теплоемкости, истинные плотности и объемные доли  $i$ -ой фазы (1 — сухое органическое вещество, 2—вода в жидко-капельном состоянии, 3 — конденсированные продукты пиролиза, 4 —минеральная часть, 5 — газовая фаза);  $T$ ,  $T_s$ — температура газовой и конденсированной фаз;  $c_\alpha$  - массовые концентрации ( $\alpha=1$  - кислород, 2 — горючие продукты пиролиза, 3 — сажа, 4 — пепел, 5 — инертные компоненты воздуха);  $p$ — давление;  $U_R$ —плотность энергии излучения;  $\sigma$ — постоянная Стефана-Больцмана;  $k$ — коэффициент ослабления излучения;  $k_g$ ,  $k_s$ —коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз;  $\alpha_V$ —коэффициент обмена фаз,  $q_i$ ,  $E_i$ ,  $k_i$ — тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакций пиролиза, испарения, горения кокса и летучих продуктов пиролиза;  $s_\sigma$ — удельная поверхность элемента лесных горючих материалов;  $M_\alpha$ ,  $M_c$ ,  $M$ —молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси;  $s$ ,  $c_d$ — удельная поверхность фитомассы и эмпирический коэффициент сопротивления полого леса;  $c$ — скорость света;  $v_i$ — проекции скорости на оси  $x_i$ ;  $\alpha_c$ ,  $v$ — коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза;  $\dot{m}$ — массовая скорость образования газодисперсной фазы;  $v_{3*}$ —характерная скорость вдува из очага лесного пожара;  $\alpha_4$ ,  $\alpha_6$ — эмпирические константы;  $g$ — ускорение свободного падения. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно. Верхний индекс " ' " относится к пульсационной составляющей данной величины. Термодинамические, теплофизические и структурные характеристики соответствуют лесным горючим материалам соснового леса и приведены в [1]. Дискретный аналог для системы уравнений (1)-(7) получен с помощью метода контрольного объема [4]. Сеточные уравнения, возникающие в процессе дискретизации, разрешались с помощью метода *SIP*. Алгоритм решения приведенной задачи включает в себя расщепление по физическим процессам. Шаг по времени для интегрирования системы обыкновенных уравнений выбирался автоматически. Для согласования полей скорости и давления использовался алгоритм SIMPLE [4].

В результате численного интегрирования получены поля массовых концентраций компонент газовой фазы, температур, объемных долей компонентов твердой фазы. На рис.1-3 представлен фронт горения, который распространяется по лесному массиву. На рис. 1-3 представлены распределения изотерм газовой фазы и массовых концентраций компонентов газовой фазы различные моменты времени

(1 -  $t=3$  с., 2 -  $t=10$  с., 3 -  $t=18$  с., 4 -  $t=24$  с.). Из рисунка видно, что за время распространения (24 секунды) фронт пожара расширился в направлении оси  $x_2$  (в направлении перпендикулярном направлению ветра) практически в два раза. Были проведены численные расчеты для различных скоростей ветра от 1 м/с до 10 м/с с шагом 2 м/с, исследована зависимость скорости распространения верхового лесного пожара от запаса лесных горючих материалов. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что с увеличением запаса лесных горючих материалов скорость распространения лесного пожара уменьшается, а с увеличением скорости ветра - увеличивается. Так, при скорости ветра 3 м/с с увеличением запаса ЛГМ от 0.2 до 0.6 кг/м<sup>3</sup> скорость распространения верхового лесного пожара уменьшается от 2 до 1 м/с. При скорости ветра 7 м/с уменьшение запаса ЛГМ от 0.2 до 0.6 кг/м<sup>3</sup> приводит к уменьшению скорости распространения фронта горения от 5 до 2.5 м/с.

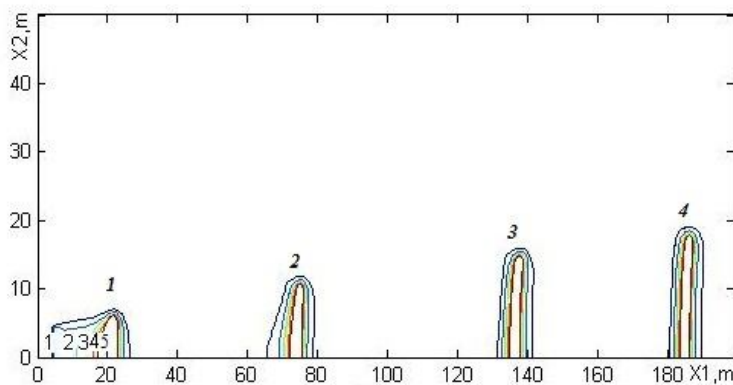


Рис. 1. Изотермы газовой фазы  $\bar{T}$  ( $\bar{T} = T/T_e, T_e = 300K$ ):  
1- 2; 2 - 2.6; 3 - 3; 4 - 3.5; 5 - 4

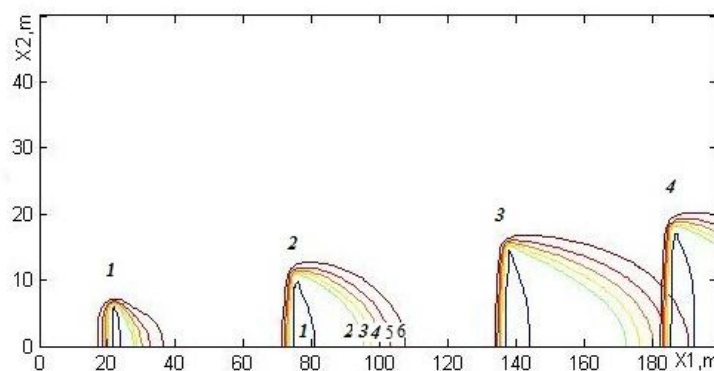


Рис. 2. Изолинии концентрации кислорода ( $\bar{c}_1 = c_1/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ):  
1 - 0.1; 2 - 0.5; 3 - 0.6; 4 - 0.7; 5 - 0.8; 6 - 0.9

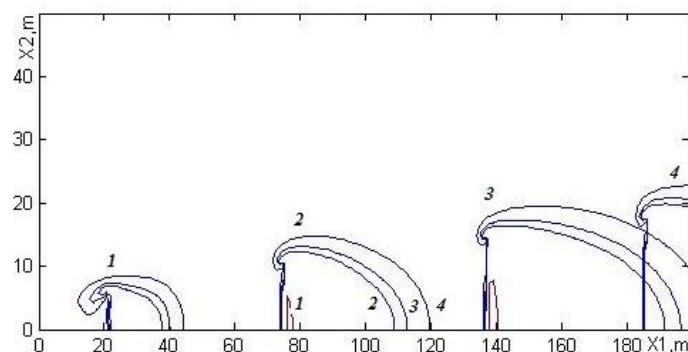


Рис. 3. Изолинии концентрации продуктов пиролиза  $\bar{c}_2$  ( $\bar{c}_2 = c_2 / c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ):  
1 – 1., 2- 0.1, 3 – 0.05, 4 – 0.01

Таким образом, метод математического моделирования может быть успешно использован для контролирования распространения верховых лесных пожаров.

### Список информационных источников

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. - Новосибирск: Наука, 1997-. 408 с.
2. Гришин А.М., Грузин А.Д., Зверев В.Г. Математическая теория верховых лесных пожаров // Теплофизика лесных пожаров. - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР. 1984. - С.38-75.
3. Perminov V. Numerical Solution of Reynolds equations for Forest Fire Spread // Lecture Notes in Computer Science. - 2002. -V.2329. -P.823-832.
4. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с.

## КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

**Хорсов П.Н.<sup>1</sup>**

*Томский политехнический университет, г. Томск*

При оценке остаточного ресурса работы ответственных элементов конструкций из композитных неметаллических материалов,

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Суржиков А.П., д.ф.-м.н., зав. кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ

подвергающихся повышенным нагрузкам, актуальным является оценка их напряженно-деформированного состояния в процессе эксплуатации.

В проблемной лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Томского политехнического университета для контроля степени дефектности и напряженно-деформированного состояния образцов разработана мультисенсорная система контроля на основе явления механоэлектрических преобразований в диэлектрических материалах [1]. Принцип действия мультисенсорной системы заключается в многократном возбуждении испытуемого объекта акустическими импульсами заданной формы (заданного спектра), регистрацией электрических откликов с использованием пространственно разнесенных емкостных приемников.

Вследствие того, что при неизменных внешних условиях эксперимента отклики в отсутствии шума и помех являются высоко детерминированными, при усреднении откликов при многократных возбуждениях удается существенно повысить соотношение сигнал-шум и тем самым обеспечить высокую чувствительность прибора.

Было показано, что при одноосном сжатии образца электрические отклики закономерно изменяются даже в условиях невысокого изменения напряженно-деформированного состояния [2].

Для оценки возможности определения абсолютного значения напряженно-деформированного состояния в работе был использован метод оптимальной фильтрации [3]. Он заключается в том, что, если на вход исследуемого объекта подавать сигнал длительности  $T$ , инверсный к форме его импульсной характеристики, то на выходе появляется сигнал с максимумом в момент времени  $T$  с наибольшим отношением сигнал-шум. Импульсная характеристика – это отклик объекта на входной импульс бесконечно малой длительности.

В нашем случае с использованием мультисенсорной системы для каждого пространственно разнесенного приемника была получена своя импульсная характеристика. Для этого на вход устройства механического возбуждения (пьезоэлектрический преобразователь) подавался электрический импульс длительностью 5 мкс. Так как длительность отклика от такого импульса в области частот (20 – 100) кГц составляла более 1500 мкс, что в 300 раз превышает длительность импульса возбуждения, можно считать сигнал отклика импульсной характеристикой.

На рис. 1 показана импульсная характеристика для второго датчика мультисенсорной системы при одноосном сжатии образца давлением в 0.5 атм.

Полученная импульсная характеристика инвертировалась. Затем инвертированное значение преобразовывалось в аналоговый электрический сигнал, который подавался на вход мультисенсорной системы для возбуждения образца, подвергающегося одноосному сжатию в прессе с заданной силой давления.

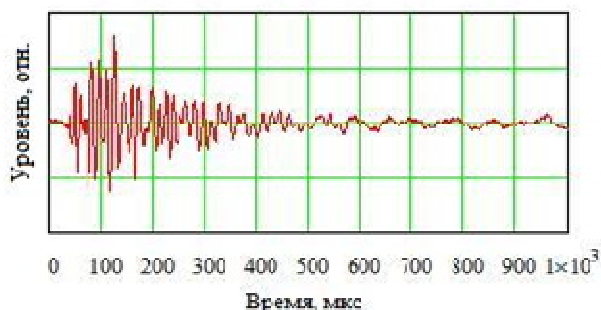


Рис.1. Электрический отклик из образца при импульсном воздействии длительностью 5 мкс (второй датчик)

На рис. 2 снизу вверх показаны отклики со второго датчика при одноосном сжатии образца давлением (0.5, 25, 50, 80) атм. соответственно. В качестве сигнала возбуждения использовалась инверсная импульсная характеристика от второго датчика, полученная при сжатии образца давлением в 0.5 атм.

Как видно из рис. 2, форма отклика имеет наиболее ярко выраженный максимум при таком давлении на образец, при котором была получена импульсная характеристика. Из рис.2 следует, что мере увеличения давления сигнал отклика затухает, а его форма уплощается.

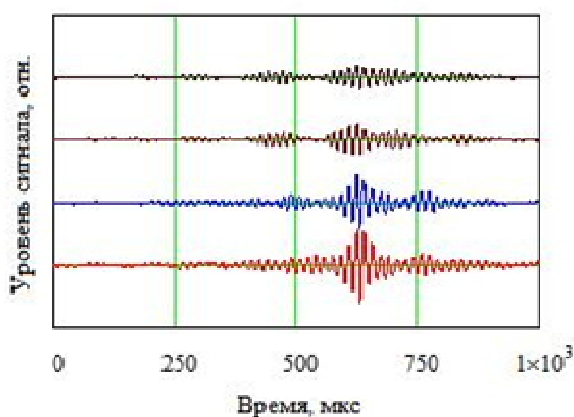


Рис.2. Отклики (снизу вверх) при сжатии образца давлением (0.5, 25, 50 и 80) атм. соответственно от входного сигнала мультисенсорной системы, имеющего форму инверсной импульсной характеристики, снятой при нагрузке в 0.5 атм

Следует отметить, что даже при однократном возбуждении образца инверсным сигналом отношение сигнал-шум на выходе

является достаточно высоким вследствие реализации принципа оптимальной фильтрации.

На рис. 3 отображены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) тех же временных откликов. Снизу вверх показаны АЧХ откликов при одноосном сжатии образца давлением (0.5, 25, 50, 80) атм. соответственно.

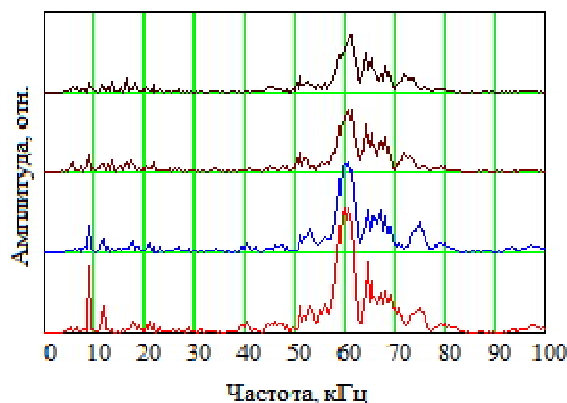


Рис. 3. АЧХ временных откликов

Как видно из рис. 3 форма АЧХ в диапазоне частот (50 – 80) кГц практически не меняется, изменяются только значения амплитуд. В низкочастотной области острые пики с увеличением нагрузки убывают более резко.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что использование принципа оптимальной фильтрации создает предпосылки для разработки метода определения абсолютных значений напряженно-деформированного состояния однотипных объектов. Для его реализации необходимо иметь импульсные характеристики откликов объекта при заданных значениях напряженно-деформированного состояния.

#### **Список информационных источников**

1. Суржиков В. П. , Хорсов Н. Н. , Хорсов П. Н. Мультисенсорная система для исследования дефектности диэлектрических материалов // Контроль. Диагностика. - 2011 - №. 11 - С. 17-20
2. Суржиков В. П. , Хорсов Н. Н. Влияние одноосной нагрузки на пространственно-временные характеристики электромагнитного отклика при акустоэлектрических преобразованиях в диэлектрических образцах // Дефектоскопия. - 2011 - №. 10 - С. 50-54
3. Хелстром К.. Статистическая теория обнаружения сигналов. -М.: Издательство иностранной литературы, 1963 - 115 с.

# **РАЗРАБОТКА МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА НА УДАРНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ**

***Чеховских С.И.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Существует проблема определения дефектных зон в бетонных и железобетонных конструкциях, как на этапе входного контроля с целью повышения надежности возводимых сооружений, так и в процессе их эксплуатации. Чтобы продлить срок службы конструкций из бетона и обеспечить их безопасную эксплуатацию необходимо иметь достоверную информацию о местоположении дефектных областей, чтобы своевременно осуществлять ремонтно-восстановительные мероприятия или принимать решение о реконструкции отдельных участков или всего инженерного сооружения в целом. Для решения этой проблемы может быть использовано явление механоэлектрических преобразований. Проведенные исследования показывают, что параметры электрического отклика на упругое ударное возбуждение зависят от структурных и механических характеристик образцов бетона [1].

Целью данной работы являться разработка метода определения области локализации дефекта в крупногабаритных изделиях, методом механоэлектрических преобразований при ударном возбуждении.

Для решения задачи определения дефектных зон в изделиях из бетона необходимо иметь информацию о пространственном изменении параметров электромагнитного сигнала по площади исследуемого изделия. Одним из методов получения пространственной картины является метод сканирования. Для осуществления процедуры механоэлектрического сканирования изделий был разработан и создан выносной измерительный зонд, позволяющий осуществлять ударное возбуждение исследуемого изделия и регистрацию электрического отклика на произведенное возбуждение.

Исследования были выполнены с помощью лабораторного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Фурса Т.В, д.т.н., в.н.с.



возбуждение образцов и регистрацию электрических откликов. Импульсное механическое возбуждение образцов осуществляли электромеханическим ударным устройством, позволяющим производить однократный удар. Для регистрации электрической составляющей переменного электромагнитного поля, возникающего в гетерогенных диэлектрических материалах при импульсном механическом возбуждении, использовался дифференциальный электрический датчик, позволяющий существенно повысить соотношение сигнал-помеха. Сигнал с электрического датчика регистрировался с помощью многофункциональной платы ввода-вывода „NI PCI-6251“, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала.

Для проведения исследований была изготовлена модель тяжелого бетона размером 110x200x300 мм с искусственным дефектом в виде воздушной полости. Были проведены исследования характера трансформации параметров электрического отклика при испытании различных участков поверхности модели. Для этого проводились последовательные измерения электрического отклика при смещении измерительного зонда вдоль поверхности изделия размером 200x300 мм с шагом, равным 25 мм.

Распространение внутри материала при его ударном возбуждении упругих волн приводит к появлению регистрируемого в ходе экспериментов электрического сигнала, основным источником которого в бетонных образцах является пьезокварц, содержащийся в речном песке [2]. Наличие дефекта в материале приводит к трансформации волновой картины акустических колебаний [3]. В соответствии с этим при залегание дефекта, в виде воздушной полости, электрический сигнал в значительной степени трансформируется, что наиболее наглядно отражается в изменении его спектральных характеристик приведенных на рис. 1, при сканировании вдоль длины модели.

Из рис.1 видно, что спектр электрического сигнала, зарегистрированный в области дефекта (кривые 3 и 4), имеет отличительные особенности. А именно: появление значимых спектральных максимумов в области 12,5 кГц. До 15 кГц. Появление более высокочастотных максимумов может являться следствием возникновения отраженных от дефекта акустических волн, возбуждающих источники механоэлектрических преобразований. Спектры из областей, где нет дефекта, имеют близкую друг к другу форму.

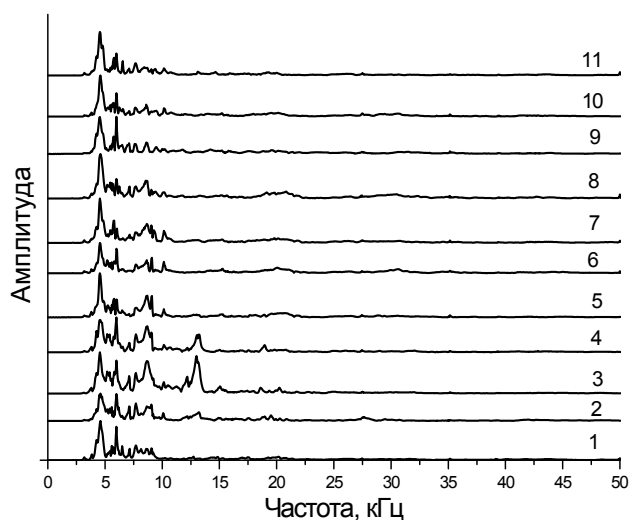


Рис. 1 Изменение спектров при механоэлектрическом сканировании образца с искусственным дефектом в виде воздушной полости. Область дефекта кривые 3 и 4

Приведенные результаты показывают, что с использованием амплитудно-частотного анализа электрического отклика на ударное возбуждение можно определять местоположение дефекта в крупногабаритных изделиях из бетона.

#### **Список информационных источников**

1. Фурса Т.В. Разработка физических основ неразрушающего контроля строительных материалов по параметрам электромагнитного отклика на импульсное механическое возбуждение.-Томск: Изд-во ТПУ, 2010.-105 с.
2. Суржиков А.П., Фурса Т.В. Механоэлектрические преобразования при упругом ударном возбуждении композиционных диэлектрических материалов //ЖТФ. – 2008 – Т.78 – Вып.4 – С.71-76.
3. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – 281с

# МАГНИТОУПРУГОЕ РАЗМАГНИЧИВАНИЕ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

*Чехунова А.М.<sup>1</sup>*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет,  
г. Тюмень*

Основная функция металлических конструкций и устройств – выдерживать нагрузки, которые в свою очередь не всегда являются постоянными, поэтому необходимо осуществлять контроль прочностных свойств материала, так как с ними напрямую связана безопасность жизнедеятельности. Известно о существовании связи механических свойств стали с ее магнитными характеристиками, что позволяет контролировать прочностные свойства по измерению магнитных параметров.

Поиску методов неразрушающего контроля посвящено много работ. Например, в статье [1] рассматривается контроль механических свойств термоупрочненных рельсов с применением магнитных методов неразрушающего контроля. В работе исследованы зависимости коэрцитивной силы, релаксационной намагниченности, твердости, прочностных и пластических свойств стали М74, предназначенной для изготовления железнодорожных рельсов, от температуры отпуска. Авторы работы зависимость механических свойств от температуры отпуска объясняют наличием и соотношением в материале после закалки мартенсита и сорбита различной дисперсности, которые влияют на магнитные и прочностные свойства. В работе [2] изучена устойчивость остаточной намагниченности термически обработанных конструкционных сталей к воздействию растягивающих, сжимающих, крутящих и знакопеременных циклических упругих деформаций. Установлено существование однозначной зависимости между температурой отпуска и изменением остаточной намагниченности, вызванной действием упругих напряжений в широком диапазоне температур отпуска. Однако, в этой работе магнитоупругое размагничивание осуществлялось на специально приготовленных образцах, и не рассматривалось применение такого метода на конструкциях и металлических изделиях, в том числе находящихся в непосредственной эксплуатации.

---

<sup>1</sup> Научный руководитель: Новиков В.Ф., д.ф.-м.н., профессор

Одной из важных задач современной методологии контроля является разработка и практическое применение методов неразрушающего контроля, который позволял бы качественно и достоверно определять степень изношенности и старения металлических конструкций и массивных деталей непосредственно в рабочей обстановке, не нанося при этом ущерб ни конструкции, ни ее работе.

Однако, далеко не все механические свойства сталей можно контролировать так однозначно, некоторые материалы плохо поддаются контролю и требуют порой целого комплекса методов для выяснения прочностных свойств. Совершенно очевидно, что необходимо искать новые методы неразрушающего контроля, которые были бы более чувствительны к изменению внутренней структуры металлических деталей и конструкций.

В настоящей работе рассматривается возможность разработки метода неразрушающего контроля механических свойств по измерению остаточной намагниченности при ударном нагружении.

Для эксперимента были изготовлены образцы из стали 45Х, размером 65 × 65 мм, которые были закалены от температуры 840°С в масло и отпущены в температурном интервале 200 - 800°С, время отпуска составляло от 20 до 80 минут и зависело от температуры отпуска конкретного образца. У термообработанных образцов был снят слой окалины, а затем были измерены коэрцитивная сила и твердость HRC. Измерения коэрцитивной силы производились коэрцитиметром ИКНМ-2ФП, твердость – стандартным твердомером по Роквеллу ТН 301. Результаты этих исследований приведены на рис. 1, 2 и не противоречат исследованиям других авторов, например, [4]. Зависимость твердости от температуры отпуска, представленная на рис. 2, монотонно убывает, кривая зависимости H<sub>c</sub> от температуры отпуска T<sub>отп.</sub>, представленная на рис. 1, ведет себя неоднозначно и имеет небольшой «горб» в области средних температур, что объясняется выделением цементита, и тенденцию ко второму максимуму. Именно это обстоятельство не позволяет осуществлять контроль механических свойств, например, твердости, по коэрцитивной силе для этой стали.

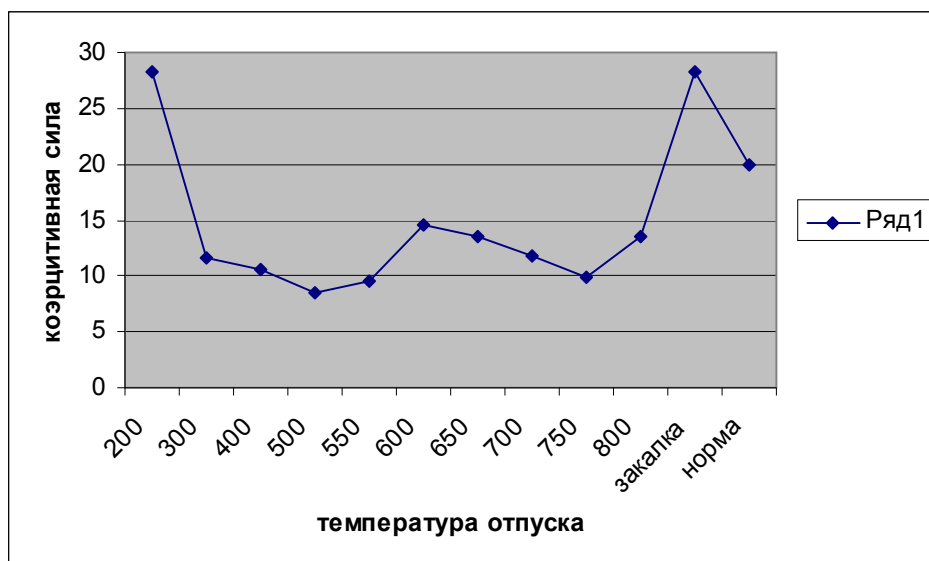


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы от температуры отпуска для закаленной от 840°C стали 45X

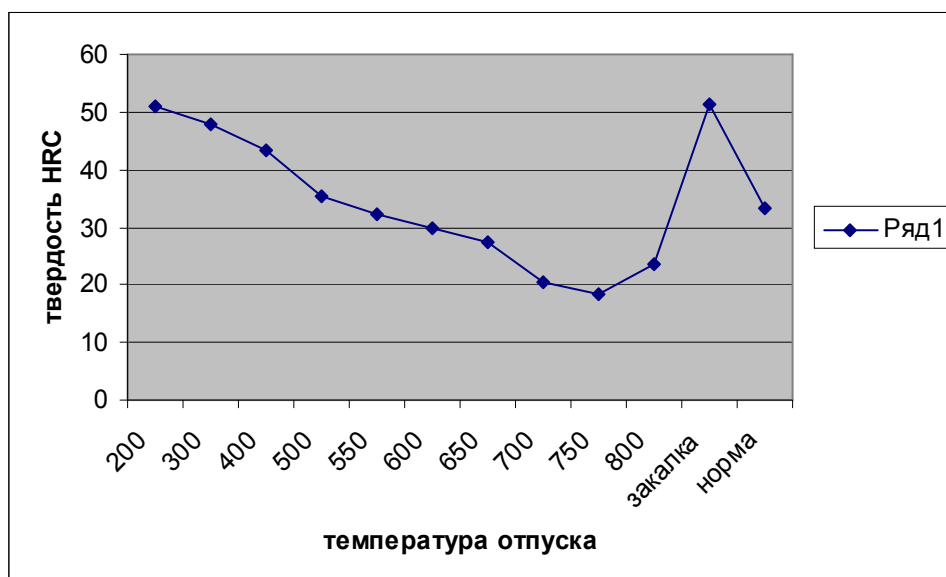


Рис. 2. Зависимость твердости HRC от температуры отпуска для закаленной от 840°C стали 45X

В эксперименте, нацеленном на поиск однозначной зависимости механических свойств от магнитных, образцы из стали 45X с помощью метода импульсно-локального намагничивания[3] намагничивались до насыщения, измерялась величина магнитного поля рассеяния, затем образцы подвергались ударной нагрузке, после чего поле измерялось снова. Для намагничивания, удара и снятия сигнала информации было изготовлено устройство (рис.3), которое состоит из следующих частей: ударное устройство (1), изготовленное из титана; пружина (2); намагничивающая катушка (3); феррозондовые датчики магнитного

поля (4); исследуемый образец (5); магнитометр марки М (6); генератор тока, состоящий из блока конденсаторов (7); спусковой механизм (8).

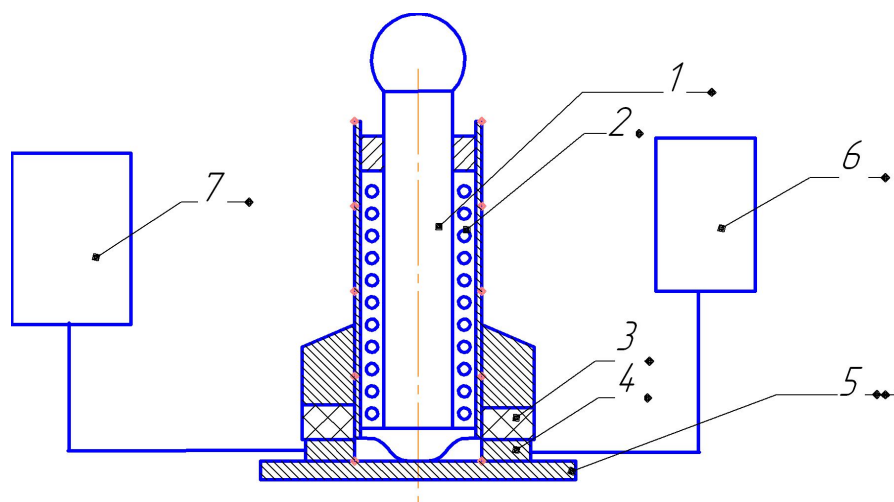


Рис. 3. Ударная установка для магнитоупругого размагничивания

Установка работает следующим образом: в намагничивающую катушку 3 с помощью генератора тока 7 пропускаются импульсы тока, в результате чего осуществляется локальное намагничивание исследуемой стали, затем с помощью магнитометра, который присоединен к датчикам магнитного поля, определяется величина магнитного поля рассеяния. Сами датчики располагались внутри устройства сразу под катушкой и были закреплены. Ударник выдвигается на заданную величину, деформируя пружину, и фиксируется спусковым механизмом. После снятия спускового механизма, боек устройства ударяет по исследуемому образцу, а с помощью магнитометра снимаются уже изменившиеся показания напряженности магнитного поля.

Для определения энергии удара был определен коэффициент жесткости пружины, который составил величину  $k=660\text{Н/м}$ . Исследования проводились при энергии удара равной 5,86 Дж.

На рис. 4 представлена зависимость изменения тангенциальной составляющей магнитного поля рассеяния  $\Delta H_r (\text{А/м})$ , вызванное ударной нагрузкой, от температуры отпуска.

Кривую в целом можно разделить на два участка: для низкоотпущенных сталей (200 – 600 °С) кривая  $\Delta H (T_{\text{отп.}})$  резко идет вверх; для образцов, отпущенных при более высокой температуре (650 – 800 °С), эта зависимость спадает. Можно видеть изменяющийся характер зависимости магнитоупругого отклика при температуре 620°С. Он связан не только с коэрцитивной силой, но и

магнитострикцией. Если коэрцитивная сила с увеличением температуры отпуска вначале падает, а затем увеличивается, то магнитострикция, как правило, растет. Эти два параметра в целом и дают такой вид деформационного изменения локальной намагниченности. Следует отметить, что усталостная прочность имеет также зависимость с максимумом.

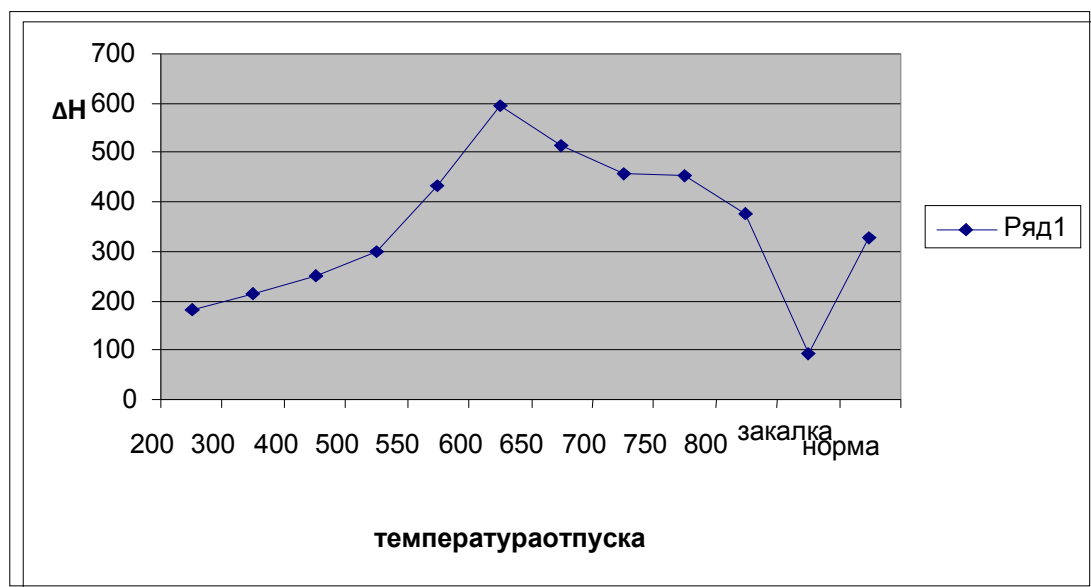


Рис. 4. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля рассеяния стали 45X от температуры отпуска

### Список информационных источников

1. Бида Г.В., Ничипурук А.П., Камардин В.М., Сташков А.Н. Исследование структуры, магнитных и механических свойств стали М74 и возможности неразрушающего контроля качества термоупрочненных рельсов // Дефектоскопия. – 2005 - № 6. - с. 76–89.
2. Горкунов Э.С., Новиков В.Ф., Ничипурук А.П., Насонов В.В., Кадров А.В., Татлыбаева И.Н. Устойчивость остаточной намагниченности термически обработанных стальных изделий к действию упругих деформаций // Дефектоскопия. – 1991 - № 2. - с. 68-75.
3. Мельгуй М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей. Мн.: Наука и техника, 1980. - с. 140-175.
4. Бида Г.В., Ничипурук А.П. Магнитные свойства термообработанных сталей, Екатеринбург, 2005.

# КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРСИИ МЕТАНА В УГЛЕРОД И ВОДОРОД

*Чигодаева Д.В.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Необходимость глубокой переработки углеводородного сырья, а так же утилизации попутного газа нефтедобычи и шахтного метана предопределили интерес к конверсии природного газа в углерод и водород и созданию соответствующих установок. Помимо этого углерод и водород сами по себе являются ценными продуктами, востребованными в различных отраслях.

Целью данной работы является разработка системы контроля технологических параметров конверсии метана.

Конверсия газов – переработка газов с целью изменения состава исходной газовой смеси. Различают два вида конверсии природного газа: каталитическую и высокотемпературную. Высокотемпературную конверсию осуществляют в отсутствие катализаторов при температурах 1350-1450 °С и давлениях до 30-35 кгс/см<sup>2</sup>.

Наряду с вышеперечисленными видами используют конверсию природного газа в плазме СВЧ-разряда, характеризующуюся пониженной температурой и давлением[1].

Примером использования плазмы СВЧ-разряда для конверсии метана являются способ и экспериментальная установка, созданная в ФТИ НИ ТПУ (г.Томск)[2].

Основной элемент установки - проточный реактор выполнен двухкамерным. Одна из камер 2 представляет собой цилиндр из нержавеющей стали, в котором размещена кварцевая труба, заполненная металлическим катализатором. Вторая камера 3 является разрядной. В первой камере осуществляется нагрев катализатора, а в разрядной камере иницируется и поддерживается необходимый для осуществления конверсии природного газа СВЧ разряд. В отличие от традиционного высокотемпературного пиролиза в данной установке нагрев катализатора осуществляется с использованием СВЧ энергии от магнетронного генератора 1 с выходной мощностью 1,5 кВт на частоте 2450 МГц.

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Шиян В.П., к.ф.-м.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ



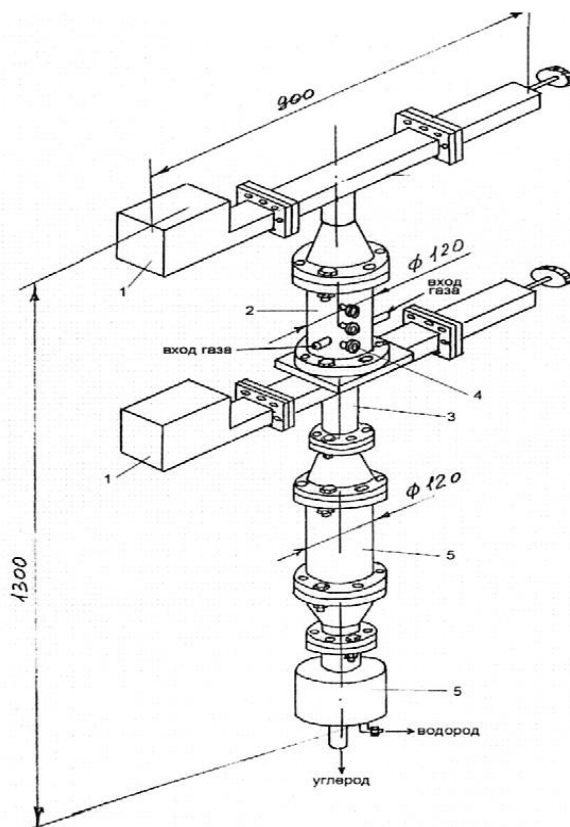


Рис. 1. Схема установки: 1 – источник СВЧ излучения; 2 – камера с катализатором; 3 – разрядная камера; 4 – кварцевое окно; 5 – агломератор ; 6 – фильтр

Для контроля температуры катализатора в реакторе предусмотрено кварцевое окно 4. Контроль температуры осуществляется с помощью пирометра типа «Кельвин» с пределами измерения от 200 до 2000 °С. Природный газ подается в нижнюю часть реактора, а подвод СВЧ энергии для воздействия на катализатор осуществлен сверху посредством ВКП. Посредством, точно такого же ВКП осуществлен подвод СВЧ энергии в разрядную камеру от второго СВЧ генератора(магнетрона) с выходной мощностью 2 кВт. Для измерения отраженной мощности используется СВЧ ваттметр поглощаемой мощности типа МЗ-56. Для сбора продуктов плазмохимической реакции предусмотрены агломератор 5 и фильтр 6. Из фильтра углерод собирается в сборнике углерода.

Экспериментальная установка оснащена датчиками технологических параметров: температуры, давления, расхода газа, концентрации газообразных продуктов реакции, СВЧ мощности, а также датчиками-сигналами дозврывоопасной концентрации природного газа и водорода в воздухе производственного помещения.

Контроль температуры осуществляется с помощью пирометра типа «Кельвин» с пределами измерений от 200 до 1300 °С; для измерения отраженной мощности используется СВЧ ваттметр поглощаемой мощности типа МЗ-56; расход газа, измеряется с помощью расходомера РС 01; давление, с помощью датчика ДМ 5007 А; концентрация водорода, с помощью «ИВА-1В».

Для обеспечения возможности контроля перечисленных технологических параметров в реальном времени разработана структурная схема информационно-измерительной системы (ИИС) и соответствующее программное обеспечение.

Для обработки и преобразования по заданной программе сигналов с первичных микроконтроллера под управлением программы, написанной на языке Си++.

Одним из важнейших технологических параметров, оказывающих большое влияние на ход процесса конверсии метана, является температура. Поскольку контроль температуры катализатора в реакторе осуществлялся через кварцевое окно, то был поставлен эксперимент по оценке влияния среды (кварца) на точность измерения температуры. Схема эксперимента представлена на рис. 2.

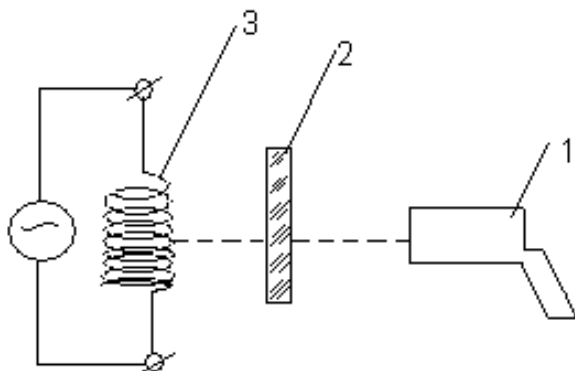


Рис. 2. Схема эксперимента: 1 – пирометр типа «Кельвин»;  
2 – кварцевая пластина; 3 – нихромовая спираль

В качестве источника тепла была использована раскаленная нихромовая спираль, температура, которой измерялась через кварцевую пластину толщиной 4 мм и без нее. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Как следует из эксперимента, существует разница в результатах измерения температуры через кварцевую пластину и без нее, обусловленная взаимодействием (отражением, рассеянием) инфракрасного излучения с кварцем.

Таблица 2  
Результаты эксперимента

Образец	Т, °С (без образца)	Т, °С (с кварцевой пластиной)
Одна кварцевая пластина, толщиной 4 мм	577	385
Две кварцевые пластины, общей толщиной 8 мм	577	266

Данная разница результатов измерений температуры учитывалась в виде поправки при контроле температуры в ходе проведения экспериментов.

#### **Список информационных источников**

1. Бабарицкий А.И., Герасимов Е.Н., Демкин С.А., Животов В.К., Книченик А.А., Потапкин Б.В., Русанов В.Д., Резанцев Е.Н., Смирнов Р.В., Шолин Г.В. Импульсно-периодический СВЧ-разряд как катализатор химической реакции // ЖТФ. – 2000. – Т. 70. – Вып. 11. – С. 36–41.
2. Способ получения углерода и водорода из углеводородного газа и устройство для его осуществления // Ю.В. Медведев, А.Г. Жерлицин, Шиян В.П. и др. Патент РФ № 2317943, Оpubл. 27.02.2008 г., Бюллетень №6.

### **УСТРОЙСТВО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ НИЗКОЧАСТОТНОЕ УРН-2**

***Чинь Ван Бак***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

В процессе бурения бурильные трубы и инструмент под воздействием различных факторов приобретают остаточную намагниченность, приводящую к ошибкам измерения азимута забойной телесистемой. Намагниченные детали нужно размагничивать для устранения влияния остаточных магнитных полей. В данной статье речь идет о Устройстве размагничивания бурильных труб низкочастотное УРН-2. Установка УРН-2 предназначена для проведения размагничивания (снижения остаточной намагниченности до допустимого уровня) стальных буровых труб и инструмента в процессе проведения спуско-подъемных операций при бурении скважин.

При использовании установки размагничивание осуществить путем циклического перемагничивания размагничиваемой детали (образца) переменным магнитным полем с плавно убывающей до нуля амплитудой. Установка УРН-2 имеет возможность регулировки частоты тока размагничивания в диапазоне от 2,5 Гц до 50 Гц, позволяет использовать прибор для размагничивания труб с толщиной стенки до 30 мм и уменьшить величину остаточной намагниченности буровых труб и инструмента до 0,5-1,0 А/см.

Установка УРН-2 состоит из электронного блока и катушки размагничивания соединенных силовым кабелем. Электронный блок предназначен для формирования переменного тока заданной частоты и силы. Катушка размагничивания создает магнитное поле с заданными параметрами, в которое помещается размагничиваемый объект. Изменение магнитного поля по величине достигается за счет перемещения объекта в поле размагничивающей катушки.

Основные технические характеристики установки приведены

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
Максимальный диаметр бурового инструмента, мм	190
Толщина стенки размагничиваемой трубы, мм	до 15
Напряжение питания катушки размагничивания, В	14
Размагничивающий ток, А	15-100
Напряженность размагничивающего поля, кА/м	6 –25
Частота электромагнитного поля подаваемого на размагничивающую катушку, Гц	От 2,5 до 50
Скорость спуска (подъема) инструмента при размагничивании частота 5 Гц, не более, м/мин частота 50 Гц, не более, м/мин	6 60
Напряжение питания, В	220±10% (50 Гц±5%)
Потребляемая мощность, Вт, не более	2500
Режим работы	Непрерывный
Сопротивление изоляции, не менее, МОм	1,0
Масса установки, кг, не более - электронный блок - размагничивающая катушка	15 35
Габариты намагничивающей катушки, мм: диаметр внутренний диаметр внешний высота	195 310 230
Длина силового кабеля, м	10

# ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ЭНЕРГОАУДИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Чулков А.О.<sup>1</sup>**

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Тепловизионная диагностика качества зданий и сооружений на наличие строительных дефектов и оценка тепловых потерь являются важным инструментом энергетических обследований (энергоаудита) благодаря, наглядности, информативности и оперативности этого метода неразрушающего контроля.

Основными видами дефектов, обнаруживаемых с помощью тепловизионного контроля, являются:

- места протечек воздуха и воды (дефектная зачеканка швов с наружной стороны, отслоения пленки мастики от бетонной поверхности, недостаточное обжатие гермита и трещины в растворе и мастике, дефекты оконных блоков и проемов: некачественное уплотнение стен замазкой, сквозные щели в соединениях нижних элементов коробок, прерывистость мастики в устье стыка защелки оконного блока);

- мостики тепла и холода; ухудшение сопротивления теплопередаче (отсутствие теплоизоляции, аномальная увлажненность, некачественная кирпичная кладка, некорректные архитектурные и строительные решения и т. п.);

- дефектные панели ограждающих конструкций (нарушения толщины и расстановки утеплителя, адсорбция влаги в утеплителе, завышение объемного веса керамзитобетона, оседание утеплителя, скол края панели);

- отслоение штукатурки, облицовки и других покрытий.

Тепловизионную съемку зданий и сооружений проводят при разности внутреннего и наружного воздуха не менее 10<sup>0</sup>С. Фактически, для получения надежных результатов тепловизионную съемку осуществляют преимущественно в зимний период; следует учитывать, что большинство коммерческих тепловизоров работоспособны до температур -15<sup>0</sup>С (в редких случаях -20<sup>0</sup>С).

По оценкам энергоаудиторов на тепловизионное обследование занимает от 30 до 50% общего объема работ по энергоаудиту зданий и сооружений. При составлении пояснительной записки по результатам

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Вавилов В.П., д.т.н., профессор, зав. лабораторией ИНК ТПУ

энергетического обследования внимание заказчика в первую очередь обращается на локальные строительные дефекты (рисунки 1, 2), проявляющиеся на инфракрасных термограммах и сигнализирующие о повышенных тепловых потерях и, следовательно, дискомфорте жильцов или персонала.

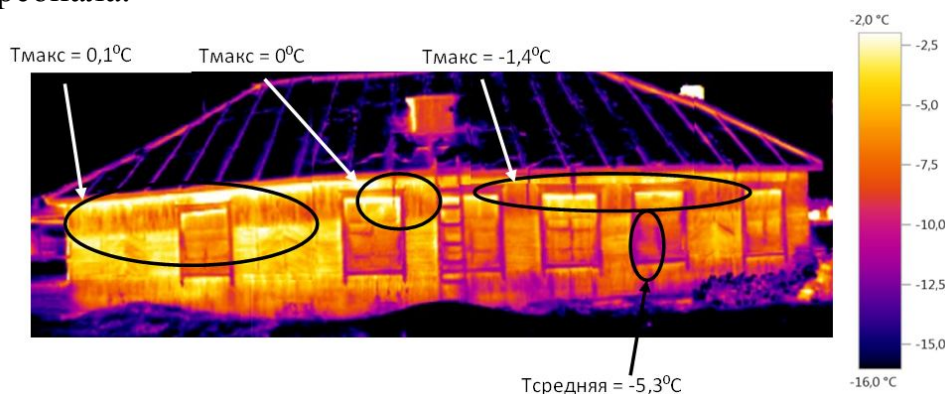


Рис.1. Термограмма сельской библиотеки в одном из сел Томской области (видны характерные для таких зданий тепловые аномалии в оконных проемах и чердачных перекрытиях (овалами выделены дефектные зоны с протечкой атмосферного воздуха и приведены характерные температуры)

Обнаруживать скрытые дефекты строительства тепловизионным методом можно как внутри, так и снаружи помещений. Внутренний осмотр является более детальным и предназначен для обнаружения, в том числе, незначительных строительных дефектов и анализа теплового режима помещений.

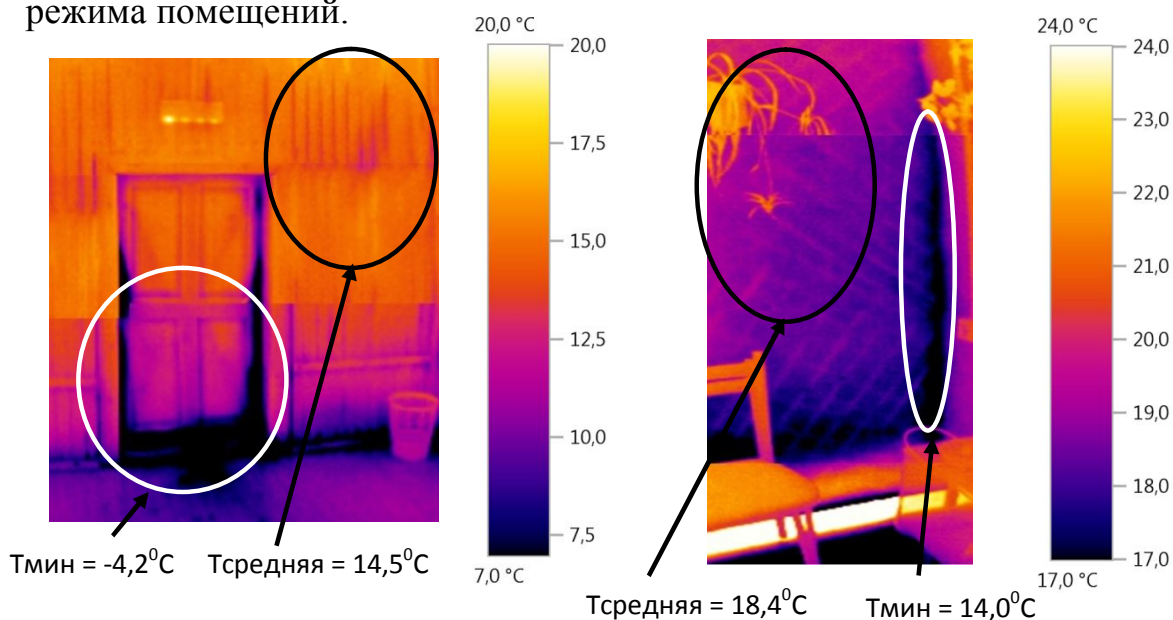


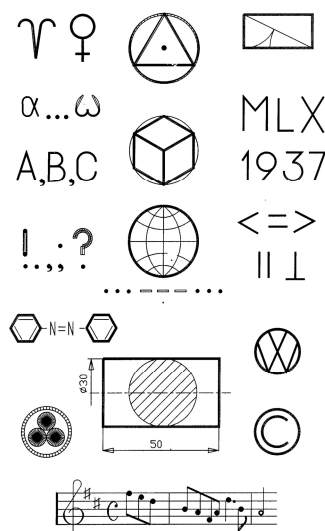
Рис.2. Термограмма внутренних помещений сельской библиотеки в одном из сел Томской области с тепловыми аномалиями в дверном проеме и угле здания (овалами выделены дефектные зоны с протечкой атмосферного воздуха и приведены характерные температуры)

**Список информационных источников**

1. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. - М.:ИД Спектр, 2009 г. 544 с.
2. ГОСТ 26629-85. Метод тепловизионного контроля качества. Теплоизоляция ограждающих конструкций. М., 1985.

Шнак М.А.<sup>1</sup>

«Инженерная графика» является уникальным графическим языком человеческой культуры. Будучи одним из древнейших языков мира, она отличается своей лаконичностью, точностью и наглядностью рис. 1. В алфавите этого языка существуют лишь два знака – точка и линия [1].



<sup>1</sup>Научный руководитель: Сергеева Т.А., ассистент кафедры механики и инженерной графики МиИГ

Трудно проследить историю развития графики как непрерывный процесс. Многие звенья в этой цепи утеряны в результате стихийных бедствий, войн, национальной и религиозной вражды. В данной работе поставлена цель осуществить краткий экскурс в историю возникновения, становления и развития одной из фундаментальных и прикладных наук – «Инженерная графика».

В разных местах земного шара – в Испании, Сахаре, Швеции, на Урале, Кавказе находятся наскальные изображения людей, животных, бытовых сцен. Уже в те далекие времена, графическое изображение служило средством представления, передачи и хранения информации.

История показывает, что изображать разные предметы и орнаменты окружающего мира человек начал раньше, чем писать. Письменность развивалась позднее графического языка на основе рисуночных образов и была визуализирована графическими элементами [2]. Потребность в построении изображений по законам геометрии возникла из практических задач строительства сооружений, укреплений, пирамид и т.д., а на позднем этапе - из-за вопросов машиностроения и техники. Конкретное время и место возникновения геометрии неизвестно, но неоспоримым является то, что геометрия является одной из самых древних наук. Изучение истории в целом и отдельных отраслях науки производится на основании найденных летописей и рукописей, а также дошедших до нас архитектурных памятников. В частных случаях именно архитектурные сооружения, оставленные нам историей, позволяют реально оценить уровень цивилизации, ее поэтапное формирование на протяжении всего периода существования человечества. Среди наиболее благоприятных условий для развития не только этой науки, но и всей цивилизации принято считать регион соприкосновения трех материков: Европы, Африки и Азии, а также народы, занимавшие территории полуострова Индостана и современного Китая [1].

Шумерская письменность возникла как рисуночная, а затем как условно-изобразительная. В египетской графике отмечают много примеров, присущих современным способам отображения, элементы графических языков. В античной Греции графика использовалась при проектировании монументальных сооружений, для иллюстрации математических трудов. Зарождение точных и естественных наук дало большой толчок развитию графики. Из точных и естественных наук раньше всего появились астрономия и математика. В V — IV тыс. до н. э. в Египте и Вавилоне, в связи со строительством оросительных систем, начинают использовать некоторые землемерные инструменты и такие приспособления, как измерительный шест, отвес, нивелирование с



помощью воды. В этот период развивается и измерение затопленных площадей, заложившее начала геометрии. Для строительства крупных объектов, какими являлись пирамиды, храмы, дамбы, каналы, нужны были рабочие чертежи, эскизы. Самым древним свидетельством появления чертежей служит сохранившийся до сих пор чертеж плана дома XXIV — XXIII вв. до н.э. из района Месопотамии. Древние египтяне имели хорошо развитое представление о планиметрических и пространственных отношениях и навыки составления технических эскизов. Об этом свидетельствуют сохранившиеся строительные и различные вспомогательные планы сооружений того времени, например план гробницы египетского фараона Рамзеса IV (около XII в. до н. э.) или нубийских золотых рудников - XIII в. до н. э. Возникновение технической графики, ее выделение из разнообразия графических отображений можно соотнести с началом строительства кораблей и монументальных зданий в древнем Вавилоне и Египте, что требовало строгого расчета, четкого взаимодействия тысяч исполнителей и передачи проектного замысла для его реализации, растянутой по времени на годы и десятилетия. Первые изображения, которые можно отнести к непосредственно «Инженерной графике» – план вавилонского дома с разрезом по дверным и оконными проемами и указанием клинописью размеров [2]. В египетской графике отмечают много приемов, присущих современным способам отображения: изображения выполнялись по законам ортогонального проецирования с набором условных приемов. Одним из первых известных трудов по инженерной графике был трактат «10 книг по архитектуре» римского инженера Витрувия (I в. до н.э.). В древней Руси было много искусных мастеров по литью металлов, изготовлению оружия, строительству зданий. Так в летописях XIII века найдены рисунки, по которым можно определить способ изготовления предметов рис. 2 [3].

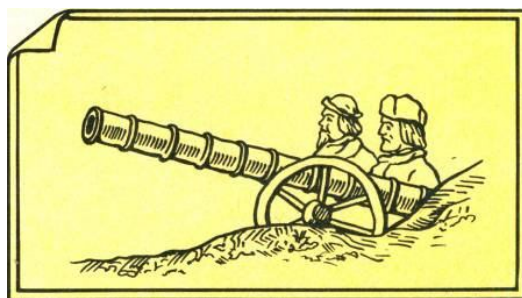


Рис. 2. Древне-русский рисунок пушки, выполненный кузнечной сваркой

Русские зодчие умели выполнять достаточно сложные чертежи. По проекту Федора Коня в 1586 году для отражения вражеских

нашествий была построена в Москве огромная каменная стена с многочисленными башнями толщиной 5 метров и длиной 7 километров. Все сооружения строились по предварительно разработанным чертежам. Первое упоминание о русских чертежах относятся к XVI веку. Эти чертежи выполнялись для нужд картографии, строительства, промышленности и военного дела. Петровские реформы начала XVIII века придали ускорение развитию графической культуры России. Большой интерес представляют чертежи И.И. Ползунова (1728 – 1766 гг.) – изобретателя первой в мире паровой машины. Чертеж выполнен в одной ортогональной проекции [3]. Сохранились чертежи арочного моста пролетом 140 саженей замечательного изобретателя-самоучки И.П. Кулибина рис. 3.

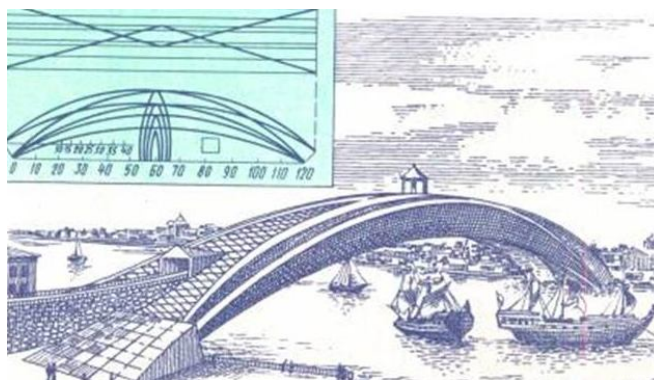


Рис. 3. Арочный мост

К концу XVIII столетия был накоплен достаточный практический опыт и появилась необходимость в научном обосновании методов начертательной геометрии, так как начавшееся к тому времени бурное развитие промышленности тормозилось отсутствием общей теории построения чертежа. Эту теорию создал в конце XVIII века политический деятель французской революции и ученый Гаспар Монж. В 1798 году он опубликовал свой труд «Начертательная геометрия», в котором теоретически обосновывались правила выполнения ортогонального (прямоугольного) чертежа. Гаспара Монжа справедливо считают основоположником начертательной геометрии. Его учение в основном сохранилось и до нашего времени. Основоположник начертательной геометрии в России, выдающийся ученый конца XIX в., профессор Курдюмов В.И., наиболее полно разработал все разделы начертательной геометрии. С начала XIX в. начертательную геометрию стали изучать в российских учебных заведениях [3].

Сегодня новые информационные технологии стремительно расширяют палитру графических возможностей, изменяя не только

Независимо от способа выполнения чертежа - ручного, механизированного или автоматизированного - знание инженерной графики является фундаментом, на котором базируется инженерное образование, инженерное творчество и система создания технической документации. Изучение наследия инженерного дела прививает чувство национального достоинства, помогает становлению профессиональной культуры и личности инженера как наследника и продолжателя традиций отечественной инженерной школы [4]. В современной ситуации каждый инженер независимо от специализации должен уметь работать с различной по виду и содержанию графической информацией, знать основы графического представления информации, методы графического моделирования геометрических объектов, правила разработки и оформления конструкторской документации, графических моделей, явлений и процессов. Именно «Инженерная графика» - объединяющая три самостоятельных предмета: начертательная геометрия, черчение и компьютерная графика является той фундаментальной наукой, которая обучает основу инженерно-технического образования [4].

### **Список информационных источников**

1. Габибов Ибрагим Абульфас оглы – История Науки: Инженерная графика. Баку: изд. АГНА, 2010.-167с.
2. [wwwcdl.bmstu.ru/rk1/Vol1/History/History.ppt](http://wwwcdl.bmstu.ru/rk1/Vol1/History/History.ppt)
3. [lekciya\\_vvedenie\\_v\\_inzhenernyuyu\\_grafiku](#)
4. Каган В.Ф. Очерки по геометрии. – М.: МГУ, 1963.

## **ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН В КОНТЕКСТЕ ИСТОРИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

***Ющук С.А.<sup>1</sup>***

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

Сегодня трудно себе представить какую-либо сферу, в которой бы не трудился дизайнер. Дизайн облегчает человеку работу и быт, влияет на стиль жизни, стремится к созданию комфортной для человека среды на основе специальных научных исследований, оптимальных условий жизнедеятельности человека, его потребностей, условий взаимодействия с современной техникой. Дизайн отличает ориентация на передовые технологии и материалы, самые современные технические достижения и веяния моды, высокие потребительские свойства выпускаемых изделий, рассчитанные на самые разнообразные вкусы людей. Понятие “Дизайн” сегодня ассоциируется с самыми прогрессивными явлениями и самыми современными техническими достижениями [1].

Но откуда берет свое историческое начало этот феномен художественной культуры, превратившийся в один из самых влиятельных видов проектно-художественной деятельности? Попытаемся разобраться. Таким образом, целью данной работы является исследование процесса становления и поступательного развития промышленного дизайна, для достижения которой необходимо решить ряд задач:

1. раскрыть понятие промышленного дизайна;
2. выделить основные этапы формообразования промышленного дизайна;

---

<sup>1</sup>Научный руководитель: Сергеева Т.А., ассистент кафедры механики и инженерной графики МиИГ

3. рассмотреть основные условия возникновения промышленного дизайна, как профессии;
4. обозначить основные черты и проблемы промышленного дизайна XXI века.

Свою историю слово «Дизайн» берет от итальянского “disegno”- понятие, которым в эпоху Ренессанса обозначали проекты, рисунки, а также лежащие в основе работы идеи. В XVI веке в Англии появляется понятие “disegno”, которое дошло до наших дней и переводится на русский язык как замысел, чертеж, узор, а также – проектировать и конструировать [1]. В более узком, профессиональном понимании дизайн означает проектно-художественную деятельность по разработке промышленных изделий с высокими потребительскими и эстетическими качествами, деятельность по организации комфортной для человека предметной среды – жилой, производственной, социально-культурной. Сегодня дизайн – это комплексная междисциплинарная проектно-художественная деятельность, интегрирующая естественнонаучные, технические, гуманитарные знания, инженерное и художественное мышление, направленная на формирование на промышленной основе предметного мира в чрезвычайно обширной “зоне контакта” его с человеком во всех без исключения сферах жизнедеятельности.

Существует множество точек зрения о времени возникновения промышленного дизайна [2,3,4]. Рассмотрев и проанализировав их, мы выделили основные исторические этапы формообразования :

1. Предтеча дизайна (от начала человеческой цивилизации до ремесленничества). С древних времен у человека проявляется стремление к максимально удобному обустройству своего жизненного пространства, создание простейших предметов обихода [5]. Не ставя перед собой определенных целей древние люди изготавливали инструменты и орудия труда, стараясь выполнить их как можно благоприятнее для себя. Например, японские котаци - жаровни, встроенные в углублении в полу. Поверх жаровен стелют циновки [6]. Причём, размер очага диктует размер помещения и, как следствие, размер циновки. Таким образом, здесь всё взаимосвязано. Все вышесказанное доказывает, что дизайн является ровесником человечества, но в скрытой форме, на подсознательном уровне.
2. Ремесленное производство (до конца XVIII в.) ручной труд, примитивные орудия труда, примитивная технология, малосерийное производство. Учитывались все потребности человека к вещи: полезность, функциональное совершенство,

удобство, красота, экономическая целесообразность (дороговизна) производством бытовых вещей издавна занимались ремесленники. Понятно, что ремесленник - не дизайнер [5]. Ремесленник делает одну и ту же вещь из одного и того же материала. Вещи получались индивидуальные, эксклюзивные, дорогие (при качестве) и производились в малом количестве (сколько сможет осилить один человек). Шесть принципов работы кустика: социологический, инженерный, эргономический, эстетический, экономический, экологический [6,7].

3. Индустриальное машинное производство (конец XVIII середина XIX века). С приходом века индустриализации дизайнер стал создавать прототипы изделий, которые с помощью машин производили другие люди. Практика раннего дизайна была весьма примитивной. Функциональностью и экономичностью производимой продукции занимались инженеры, а дизайнеры отвечали лишь за ее эстетический вид. Оказалось, что дизайнеры должны создавать прототипы массового машинного производства, предварительно изучив технологию современного производства и свойства материалов [5]. Назначению изделий и простоте обращения с ними придавали столь же важное значение, как и их внешнему виду. В скором времени дизайнерские фирмы стали набирать в штат чертежников, модельщиков, инженеров, архитекторов и специалистов по изучению рынка. 1785г. в Англии начинает развиваться индустриальное машинное производство - специализация, узкопрофессиональный подход, разделение труда, поточность.

Развитие науки и техники, появление новейших материалов, развитие массового машинного производства, разделение труда, развитие сознания и вкуса у людей (стремление приобрести не только функциональные и удобные, но и эстетически выразительные изделия) – все это условия возникновения дизайна [1,5]. В результате появилась необходимость в особом специалисте, способном не только создавать привлекательный внешний вид, отвечающий веяниям моды и запросам потребителя, форму изделия, но и хорошо разбираться в конструировании и технологии машинного производства. Только в условиях решения комплексных инженерно-технических, художественных вопросов возможно, как показала практика, создавать конкурентоспособную продукцию. Так зародилась профессия дизайнера, следовательно, последний четвертый этап - рождение дизайна и профессии дизайнер (конец XIX начало XX века) [6,7].

В наше время все больше людей обращают внимание на промышленный дизайн, считая его одной из прогрессивных областей деятельности, которая способна возродить или вывести на новый уровень развития какое-либо производство. Основными тенденциями развития промышленного дизайна в наше время стали такие качества, как массовость, общедоступность, стремление к индивидуальности. Но это в свою очередь привело к снижению ценности дизайна, вещи становятся «безликими» и «усреднёнными» [7]. Это происходит потому, что в современном обществе многие люди, обладающие элементарным чувством вкуса, стремятся отнести себя к дизайнерам. По-новому расставленная мебель или изменение каких-либо несущественных деталей изделия – это ещё не дизайн, а в какой-то степени стайлинг. Нельзя путать эти два понятия. Промышленный дизайн - универсальное явление, которое соединяет в себе искусство и технику. История промышленного дизайна – это эволюция промышленных предметов, их совершенствование, реорганизация идей, изменение конструкции предмета.

#### **Список информационных источников**

1. [www.trozo.ru](http://www.trozo.ru).
2. Михайлов С. М. История дизайна, том 1, М: «Союз дизайнеров Росси», 2004.
3. Бхаскаран Л. Дизайн и время, Арт-РОДНИК, 2005
4. Рунге В. Ф. Сеньковский В. В. Основы теории и методологии дизайна. Учебное пособие 3-е издание, перераб. и доп.-М., МЗ Пресс, «Социально-политическая МЫСЛЬ», 2005.
5. <http://brandlabel.ru/istoriya-dizayna/istoriya-promyishlennogo-dizayna-3.html>.
6. Быстрова Т. Ю. «Возраст дизайна: анализ версии «Дизайн всегда».
7. Быстрова Т. Ю. « Современный дизайн: тенденции глобализации».

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

*Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М., Соколова А.А.*

*Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола*

Прошло почти III века с тех пор, как Амати, Гварнери, Страдивари и другие великие мастера староитальянских школ подарили человечеству уникальные, до сих пор непревзойденные по красоте звучания музыкальные инструменты. Ученые и специалисты многих стран все еще пытаются разгадать секрет Страдивари, используя для этого самые передовые научно-технические достижения. Пока неопровержимо доказано, что один из основных секретов звучания скрипок великого мастера кроется в распознавании и умелом использовании так называемой резонансной древесины [1,2].

Ценность резонансной древесины связана еще и с тем, что встречается она не у всех пород деревьев (в частности, ели, кедра, пихты) и произрастает далеко не во всех местностях.

В настоящее время высококачественная резонансная древесина ели во всем мире является весьма дорогим материалом; цена кубометра сертифицированных заготовок давно превысила 50-70 тыс. долларов США.

Общепринятым критерием, характеризующим зрелую древесину как резонансный лесоматериал, является показатель акустической константы -  $K$ , имеющий значение  $12 \text{ м}^4/\text{кг}\cdot\text{с}$  и более [2]. Для его определения имеются несколько способов, основанных на ультразвуковых, амплитудно-частотных и других измерениях [3,4,5].

Что же касается ранней диагностики резонансных свойств древесины на корню в «подростковом» возрасте, то этот процесс намного сложнее и требует нового подхода как в научно-методологическом обосновании, так и создании на этой основе соответствующих технических средств.

Наибольший практический интерес и, главное, реальные возможности в этом направлении имеет установление связи между упруго-механическими и резонансными свойствами древесины.

Известен способ диагностики качества древесины на корню путем измерения модуля Юнга через величину прогиба, создаваемого изгибающим моментом на стволе с помощью рычажного приспособления и силы тяжести человека [6].



Недостатком данного способа помимо большой трудоемкости, сложности и низкой производительности является то, что данным способом можно выявить только статический модуль упругости  $E_{ст}$ , а для определения динамического модуля упругости Юнга  $E_{дин}$  и в дальнейшем акустической константы  $K$  требуются частотно-амплитудные характеристики, в частности, собственная резонансная частота колебаний  $f_0$ . К тому же данный способ применим для деревьев со стволами диаметром 10 – 25 см. Тогда как для диагностики деревьев в стадии подроста оптимальная толщина ствола составляет 3 – 5 см.

Предлагаемый аппаратно-программный комплекс позволяет провести раннюю диагностику резонансных свойств древесины подроста на корню с диаметром черенков 4–15 мм посредством амплитудно-частотных показателей [7]. Для этого у елового подроста берут образцы в виде черенков длиной 60 – 120 мм и с помощью специального устройства определяют амплитудно-частотные характеристики.

Устройство представляет собой комплекс взаимосвязанных приборов. Схема установки для проведения исследования представлена на рис. 1.

Сигнал, изменяющийся по частоте, заданной оператором в диапазоне от 0 до 500 Гц, поступает от звукового генератора **1** на электромагнитный излучатель **2**, который возбуждает поперечные колебания исследуемого образца **3** с помощью «колпачка» **4** из электромагнитной стали. Датчик **5** принимает сигнал и передает его на блок обработки сигнала **6**. В результате получаем построение графика амплитудно-частотной характеристики исследуемого образца (рис. 2), по которому определяются резонансные свойства молодого подроста. Входящая в комплект установки оригинальная программа также позволяет сохранять и распечатывать результаты эксперимента для проведения дальнейшей стат. обработки данных.

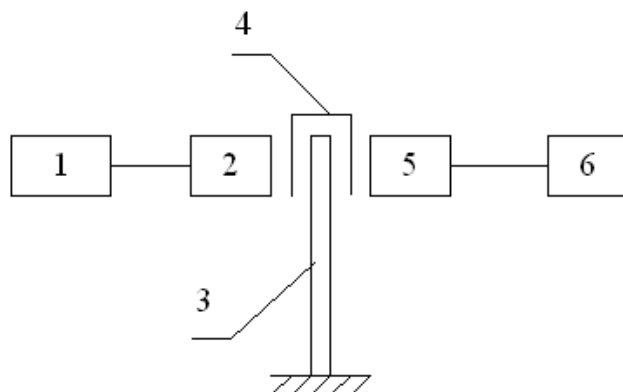


Рис. 1. Схема устройства для определения резонансных свойств

Потенциальными потребителями предлагаемого устройства являются:

- предприятия лесного комплекса (независимо от форм собственности);
- арендаторы лесов, нацеленные на долгосрочный срок аренды;
- экологические общества, выполняющие Международные проекты по сохранению и приумножению генофонда исчезающих видов флоры на планете.

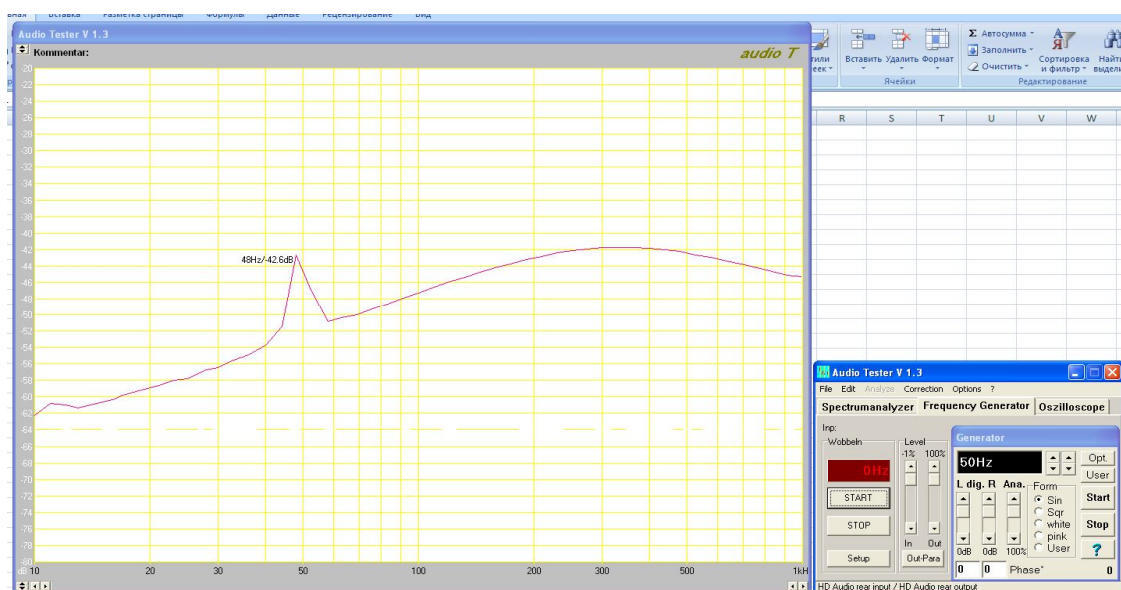


Рис. 2 Амплитудно-частотная характеристика испытываемого образца

Апробация данного устройства проводилась на базе:

- аккредитованной на техническую компетентность в Системе ГОСТ Р лаборатории Квалиметрии резонансной древесины (в своем роде единственная в России);
- созданной на территории Учебно-Опытного Лесхоза Поволжского государственного технологического университета архивно-маточной плантации резонансной ели.

### Список информационных источников

1. Федюков В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, сертификация. Йошкар-Ола, 1998. 204 с.
2. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Учебник для лесотехнических вузов-М.: МГУЛ, 2001.-340с.

3. Волинский В.Н. О методах определения модуля упругости при изгибе древесины и древесных материалов. ИВУЗ «Лесной журнал», 1984, №1, с. 62-64.
4. Lindstrom, H.; Harris, Sorensson, C.T.; Evans, R.: Stiffness and wood variation of 3-year-old *Pinus radiata* clones. Wood Science and Technology 29: 321-338.
5. Lindstrom, H.; Harris, P.; Nakada, R. 2002: Methods for measuring stiffness of young trees. Holz als Roh-und Werkstoff 60: 165-174).
6. Koizumi Akio. «Хоккайдо дайгану ногакубу энсюрин кэнкю хококу. Res, Bull, Coll.Exp,ForestHokkaidoUniv», 1987,44, №4,1329-1346, в реферате ж-ла «Технология и оборудование лесозаготовительного , деревообрабатывающего и целлюлозно-бумажного производства», 1988, №3
7. Пат.2439561 РФ. МПК А 01 G 33/46. Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины /Федюков В.И., Салдаева Е.Ю. Бюл. Изобрет.- 2012.- №1.

## **АППАРАТУРА МИД-ГАЗПРОМ К ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

***Куйбышев Р.Р.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Одной из актуальных проблем нефте- и газодобывающих компаний является снижение затратности на основное производство. Контроль технического состояния скважин, бурильного инструмента и оборудования и своевременное обнаружение дефектов может помочь избежать аварии и в значительной степени сказаться на экономии средств компании. Согласно «Положению о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических, устройств оборудования и сооружений на опасных производственных объектах», установленным Федеральным горным и промышленным надзором России постановлением от 9 июля 2002 г., указывается перечень необходимых работ по техническому диагностированию.

---

<sup>1</sup> *Научный руководитель: Алхимов Ю.В., к.т.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества ИНК ТПУ*



Рис. 1. Аппаратура МИД-ГАЗПРОМ К. В комплект входит: - скважинный прибор МИД-К; - Блок интерфейсный МИД-К ; - ноутбук «Compaq».

Аппаратура МИД-ГАЗПРОМ К разработана на основе опыта промышленного использования приборов магнитоимпульсной дефектоскопии и предназначена для проведения дефектоскопии-толщинометрии в многоколонных конструкциях скважин. Также позволяет выявлять дефекты обсадных колонн и НКТ, определять положение конструктивных элементов скважины, забойного оборудования и интервалов перфорации.

Аппаратура МИД-ГАЗПРОМ К, изображенная на рисунке 1, разработана специалистами компании ЗАО НПФ «ГИТАС» совместно с ОАО «ГАЗПРОМГЕОФИЗИКА».

Со скважинной аппаратурой МИД-К я познакомился в период прохождения научно-производственной практики в г. Октябрьский, Республика Башкортостан в компании ЗАО НПФ «ГИТАС». Аппаратура проста в использовании, имеет минимальную погрешность обнаружения дефектов от 14,5 мм (продольные, поперечные трещины и сквозные отверстия); определяет характер и положение дефектов и привязывает их к глубине скважины; записывает данные о каротаже и дефектоскопии непосредственно в ПЗУ ноутбука; а также интерпретационная программа и построение дефектограмм.

Еще одним из главных свойств этого прибора является возможность технической диагностики многоколонных конструкций, благодаря использованию метода магнитоимпульсной дефектоскопии. Принцип метода магнитоимпульсной дефектоскопии представлен на рисунке 2.

Метод магнитоимпульсной электромагнитной дефектоскопии-толщинометрии основан на исследовании пространственного распределения в колонне труб затухающих во времени вихревых токов, которые наводят электродвижущую силу (ЭДС) в приемной катушке

после выключения импульсов тока намагничивания в генераторной катушке.

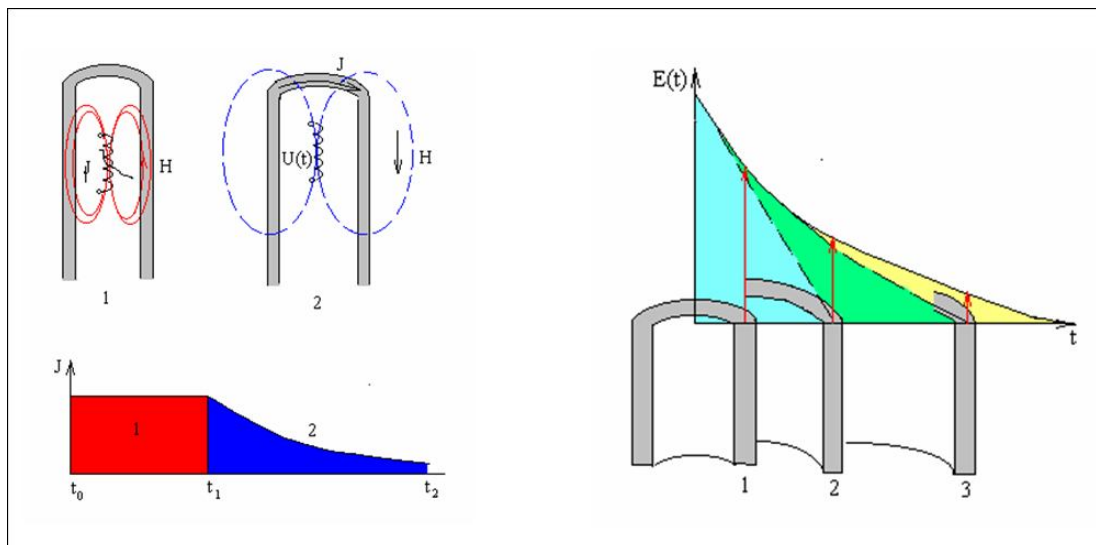


Рис. 2. Принцип метода магнитоимпульсной дефектоскопии. Временное разделение ЭДС в многоколонной конструкции скважины.

Временное разделение сигналов позволяет производить зондирование многоколонных конструкций. Это осуществляется путем выбора длительности электромагнитного импульса и паузы, по время которой регистрируют информацию, конструкции зондовой установки.

На рисунке 3 изображен пример дефектограммы получаемой при неразрушающем контроле аппаратурой МИД-ГАЗПРОМ К насосно-компрессорной трубы с различными видами дефектов (искусственные дефекты – пропилы и сквозные отверстия). По характеру затухания ЭДС в трубе и выбранному временному интервалу можно судить о том или ином дефекте или их отсутствие. Перед выпуском продаж МИД-К заказчику, ее подвергают множественным испытаниям, как в лаборатории с использованием специальных моделей труб с искусственными дефектами, так и в полевых условиях, непосредственно в скважинах. Погрешность результата испытаний на скважине не должна превышать 10% к установленному образцу.

Производство прибора делится на 2 части: производство механических частей аппаратуры (корпус, кожухи, центраторы и т.д.) и электронных частей, отвечающих за работу прибора (продольные и поперечные зонды, источники питания и т.д.). За время прохождения производственной практики я работал на должности техника-электроника в отделе программно-управляемой аппаратуры, которая отвечает непосредственно за электронную часть прибора, его сборку и испытания. Работа сводилась к монтажу элементов на печатные платы,

по исходным данным. Мне доверили «собирать» блок питания для прибора, в итоге я спаял платы блоков питания на 15 приборов. Работа по монтажу плат постоянно менялась различными испытаниями только что сделанного прибора.

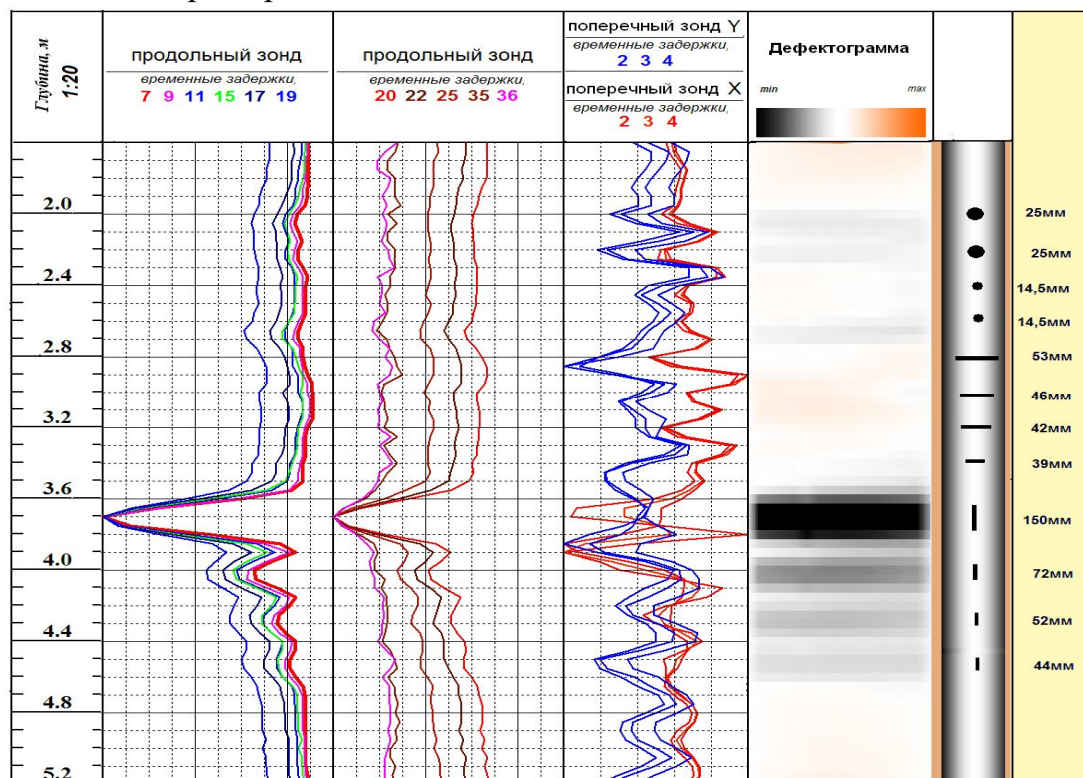


Рисунок 3. Пример дефектограммы. Выявление дефектов в НКТ.

### Список информационных источников

1. А.П. Потапов, Л.Е. Кнеллер, В.Н. Даниленко, В.В. Даниленко, А.Н.Наязин «Магнитоимпульсная дефектоскопия-толщинометрия обсадных колонн и нкт»;
2. А.П. Зубарев, В.И. Шамшин, В.Н.Даниленко «Методическое руководство по проведению магнитоимпульсной дефектоскопии-толщинометрии в нефтяных и газовых скважинах аппаратурой МИД-ГАЗПРОМ и обработке результатов»;
3. А.А. Абакумов «Магнитная интроскопия».

## **ЭКСПЕРТНО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКИХ ВХОДНЫХ ДАННЫХ**

***Кононов Ю.М., Иванов Е.Н.<sup>1</sup>***

*Томский политехнический университет, г. Томск*

Планирование применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН) является сложной задачей, требующей комплексного подхода при ее решении. Без оптимизации условий выбора технологий для внедрения на конкретном участке нельзя в полной мере реализовать возможности МУН. На нынешнем этапе развития подбор имеющихся технологий МУН для конкретных геологических объектов является важнейшей и в то же время слабо изученной проблемой. В России до сих пор очень слабо распространены методы и программы подбора необходимых МУН, созданных для геологических условий интересующего нас объекта [1]. Более того, процесс подбора оптимальной технологии воздействия значительно усложняется за счет неоднозначности критериев выбора оптимального метода для конкретных геолого-физических характеристик пласта.

Для решения таких задач все большее применение в мировой практике находят экспертные системы и технологии искусственного интеллекта. Большинство программ успешно развиваются и применяются за рубежом. Методики и программное обеспечение для аналитического моделирования успешно используются в многочисленных проектах в таких странах, как США, Мексика, Венесуэла, Колумбия, Египет и др. [2].

Важной проблемой является установление жестких границ для критериев применимости МУН, что может привести к рискам и ошибкам при выборе технологии воздействия. Обычно выбор МУН происходит путём анализа геолого-физических свойств по принципу «подходит – не подходит». Это осуществляется путём сопоставления усредненных характеристик пласта с табличными критериями применимости, выработанными ранее на основе мирового и отечественного промышленного опыта. Зачастую при выборе МУН не учитывается опыт частично успешного применения технологий в случаях, когда значения свойств нефтяных пластов выходят за пределы

---

<sup>1</sup> Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники ИНК ТПУ



критериев применимости и не всегда учитываются погрешности измерений при формировании интервалов применимости, что в итоге может привести к принятию ошибочного решения.

Для преодоления проблем, возникающих при использовании строгих границ применимости методов предлагается использовать нечёткую логику (Fuzzy Logic)[3], чтобы получить более реалистичные результаты. Нечёткая логика используется для анализа сложных систем, в которых существенную роль играет знание и опыт человека и где затруднительно применение традиционных количественных методов.

Нечёткая логика является расширением обычной Булевой логики, в ней значения "истина" и "ложь" заменяются значениями функции на отрезке от 0 до 1. Функция принадлежности элемента к множеству может принимать любые значения в интервале  $[0...1]$ , а не только 0 или 1, такие множества называются нечёткими. Нечёткая логика часто используется в экспертных и самообучающихся системах, системах управления устройствами и технологическими процессами, а также в системах распознавания образов.

Под нечётким множеством  $A$  понимается совокупность  $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$ , где  $X$  – универсальное множество, а  $\mu_A(x)$  – функция принадлежности элемента  $x$  множеству  $A$ , характеризующая степень принадлежности значения  $x$  нечёткому множеству  $A$ . Значение функции принадлежности  $\mu_A(x)$  для элемента  $x \in X$  будем называть степенью принадлежности элемента  $X$  множеству  $A$ . Также в нечеткой логике вводится понятие лингвистической переменной, значениями которой являются не числа, а слова естественного языка, называемые термами, каждому терму соответствует нечёткое множество. Для физической реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения термов этой переменной, которые могут задаваться различными функциями. На рисунке 1 показан пример функции принадлежности нечёткого значения (терма) «около 10» с использованием треугольной функции.

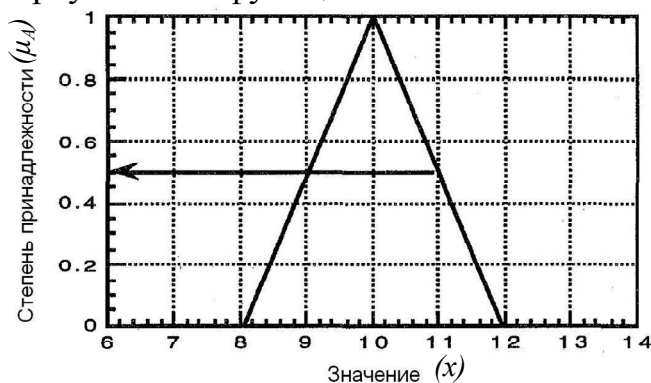


Рис. 1. Функция принадлежности нечёткого значения «около 10»



Пластовые системы вместе с насыщающими их флюидами представляют классический пример сложной системы, в которой физическая неопределенность объекта связана как со стохастической неопределенностью (ситуация случайности), так и с принципиально невозможным точным определением вполне определенных физических параметров среды, выполняемых физическими приборами (ситуация нечеткости). Все это позволяет отнести пластовые объекты к классу нечетких сред, а решение задачи выбора МУН – к принятию решения в нечеткой среде. С помощью теории нечетких множеств можно количественно оценить такие категориальные понятия, как "очень хороший" или "очень плохой", что особенно важно в задачах типа выбора метода воздействия, когда параметры пласта отличаются в ту или иную сторону от критериев применимости [4].

Таким образом, для решения проблемы выбора оптимальных технологий для конкретных геолого-физических условий пласта в условиях неточных и неполных входных данных был разработан новый программный комплекс «Матрица применимости МУН». [6]. Программный комплекс разработан по принципу экспертной системы на основе критериев применимости, обобщенных по данным отечественной и мировой литературы [5, 7]. Методы увеличения нефтеотдачи, заложенные в программе, относятся к нескольким группам: гидродинамические, термические, химические, закачка полимеров, щелочей, потокоотклоняющие технологии, газовые, водогазовое воздействие, термогазовое воздействие. Входными данными для программы является стандартный набор геолого-физической информации: тип резервуара, глубина залегания, проницаемость, пористость, температура, вязкость и другие.

Задание в программе граничных значений для вычисления коэффициентов применимости происходит по нечеткой логике, подразумевающий для значений доверительный интервал. Для каждого геолого-физического параметра в методах используется индивидуальная функция применимости. К примеру, если для одного из методов интервал применимости, скажем, по вязкости, лежит в пределах от 5 до 8 сП, то значения 4 и 9 сП из-за небольших отклонений не должны исключаться из оценки, так как всегда присутствует ошибка измерения свойств.

В итоге, погрешность измерений и опыт применения технологий формирует данный доверительный интервал. Исследуемым коллекторам, значения свойств которых попадают в доверительный интервал, присваивается более низкий коэффициент по функции. В результате работы программы возможно произвести оценку

применимости методов и получить оперативные графики «методы – коэффициенты применимости», а также лепестковые диаграммы с визуализацией интервалов применимости.

Кроме того, в программе заложена уникальная база данных использования МУН более чем по 400 проектам. При вводе данных по пласту возможен поиск месторождений-аналогов по применяемым методам и использование опыта предшествующей разработки. На основе заложенной в матрице базы данных, возможно формировать и корректировать критерии применимости путём анализа успешных проектов применения МУН.

По сравнению с логическими и вычислительными методами принятия решений при использовании методик оценки применимости МУН методами нечёткой логики не предъявляются строгие требования к точности, полноте и непротиворечивости исходных данных.

Заложенные в программе критерии и использование нечеткой логики позволяют получить более адекватную оценку применимости каждого из методов, оптимизировать процедуру выбора оптимальных МУН и снизить риски при выборе технологии воздействия.

#### **Список информационных источников**

1. Муслимов Р.Х. КИН – его прошлое, настоящее и будущее на месторождениях России // Бурение и нефть. – 2011. – №2. – С.21-25.
2. Альварado В., Манрик Э. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Планирование и стратегии применения. – М.: Премиум Инжиниринг, 2011. – 244 с.
3. Ting-Horng Chung, Herbert B. Carroll, Lindsey R. Application of Fuzzy Expert Systems for EOR Project Risk Analysis // SPE paper 30741-MS, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Oct. 22–25, 1995. – Dallas, Texas, 1995. – 9 p.
4. Ерёмин Н.А., Золотухин А.Б., Назарова Л.Н., Черников О.А. Выбор метода воздействия на нефтяную залежь. Учебное пособие. Под ред. И.Т. Мищенко. М., ГАНГ, 1995.- 190 с.
5. Taber J.J., Martin F.D., Seright R.S. EOR Screening Criteria Revisited - Part 1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Projects // SPE Reservoir Engineering. – 1997. – V.12. – № 3. – P. 189–198.
6. Иванов Е.Н., Кононов Ю.М., Мухамадиев Р.В. Разработка методики выбора методов увеличения нефтеотдачи на нефтяных месторождениях на основе геолого-физической информации // Увеличение нефтеотдачи – приоритетное направление воспроизводства запасов углеводородного сырья: Сборник трудов Междунар. научно-

практ. конф.. (г.Казань, 7-8 сентября 2011 года) – Казань, 2011, с. 229-232.

7. Муслимов Р.Х. "Планирование дополнительной добычи и оценка эффективности методов увеличения нефтеотдачи пластов". – Казанский Государственный Университет, Пресс 1999.

## **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

***Коломеец А.О.***

*Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск*

Совершенствование систем ремонта и эксплуатации на предприятиях железнодорожного транспорта невозможно без повышения уровня знаний, умений и профессиональных навыков специалистов [1]. Поэтому одной из приоритетных задач Холдинга ОАО «РЖД» является повышение эффективности обучения специалистов всех категорий [2], для решения которой ведутся разработки распределенной корпоративной системы обучения, проводится развитие форм и методов дистанционного повышения квалификации, контроля знаний, умений и навыков. В этой связи особенное значение должно придаваться внедрению в учебный процесс передовых инновационных образовательных технологий.

В вагоноремонтном комплексе процессу обучения и проведения технических занятий уделяется большое внимание. Предприятия внедряют различные информационные системы для осуществления технических занятий.

В Сибирском государственном университете путей сообщения (СГУПС) проводится повышение квалификации по неразрушающему контролю (НК) и сертификация специалистов службы пути, вагонных и локомотивных предприятий. Учебная программа подготовки состоит из двух разделов теоретической и практической. В первом разделе изучают физические основы и технологию НК, во втором – средства контроля. В процессе разработки учебной программы учитывалась особенность профессии дефектоскописта: высокая цена ошибки – сход, авария, крушение [4]. Квалификационные требования включают в себя не только знания приборов НК и умения их применения, но и навыки проведения настройки и контроля. Для отработки практических

навыков в учебной программе более половины часов отводится на занятия с приборами НК.

Проведенный анализ опубликованных работ показал, что существующие в настоящее время программные продукты направлены на совершенствование теоретического обучения физическим основам НК, изучение органов управления и системы меню дефектоскопов. В целях повышения эффективности процесса подготовки дефектоскопистов по ультразвуковому методу НК в СГУПС был разработан компьютерный тренажер ультразвукового дефектоскопа (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010615213).

Тренажер (рис. 1) состоит из передней и верхней виртуальных панелей дефектоскопа (1, 4 на рис. 3). На передней панели (1) расположены органы управления (2) и экран (3) дефектоскопа. Органы управления по своим функциональным назначениям полностью соответствуют органам управления реального средства НК, максимальная правдоподобность достигается при использовании сенсорного монитора. На экране (3) дефектоскопа программа воспроизводит систему меню, А- и В-развертки, которые формируются в зависимости от положения преобразователя (7) на объекте (8). В процессе обучения специалист изменяет расположение преобразователя и объекта с помощью «мыши» или сенсорного экрана и анализирует диагностические сигналы в виде А- или В-развертки на экране (3) виртуального дефектоскопа.

Эффективность применения тренажера для обучения и отработки навыков определяется достоверностью представляемых на экране диагностических сигналов. Поэтому при создании тренажера был специально разработан алгоритм расчета А- и В-развертки с различными вариантами параметров аппаратуры и метода, обеспечивающие проведение обучения в широком спектре условий контроля.

Для тренажера дефектоскопа были созданы виртуальные преобразователи и объекты в соответствии с технологическими инструкциями по ультразвуковому контролю осей колесных пар вагонов ТИ 07.73-2009 и цельнокатаных коле ТИ 07.74-2009:

- осей РУ1-Ш и РУ1 прямым преобразователем с торца оси (рис. 2, а) и с зарезьбовой канавки (рис. 2, б), с цилиндрической поверхности шейки (рис. 2, в);
- колеса с поверхности катания 90-градусным преобразователем (рис. 2, г) и с внутренней боковой поверхности (рис. 2, д) наклонным 50- и 40-градусными преобразователями.

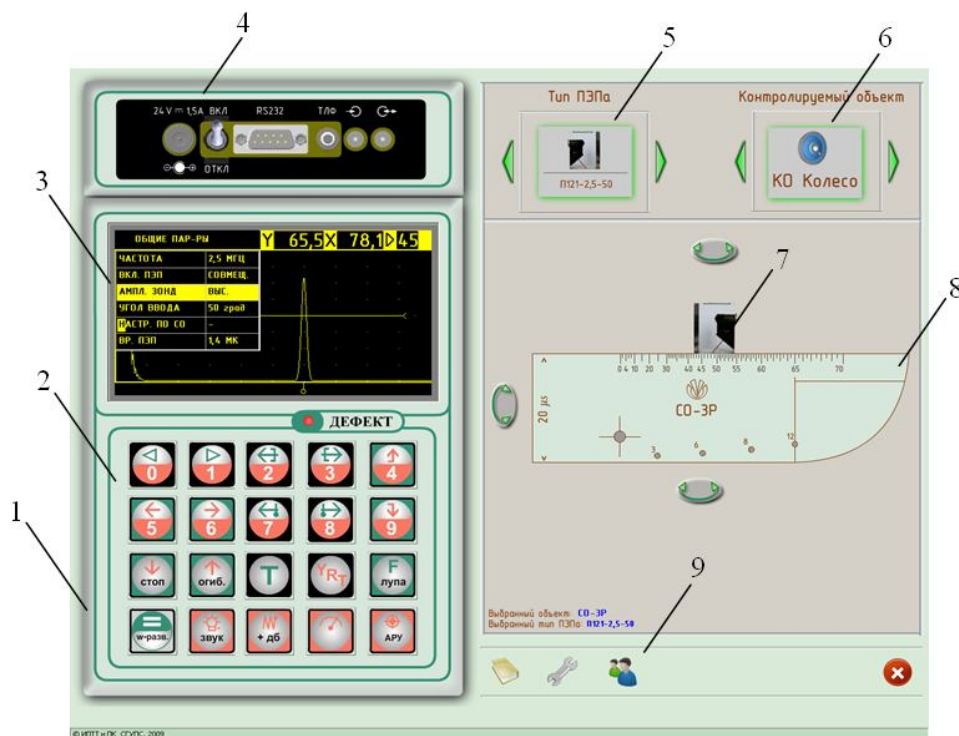


Рис. 1 Вид экрана с компьютерным тренажером дефектоскопа: 1 – передняя панель дефектоскопа, 2 – органы управления, 3 – экран дефектоскопа, 4 – верхняя панель, 5 – меню выбора ПЭП, 6 – меню выбора объекта, 7, 8 – интерактивные ПЭП и СОП, 9 – меню помощь, задания, информация

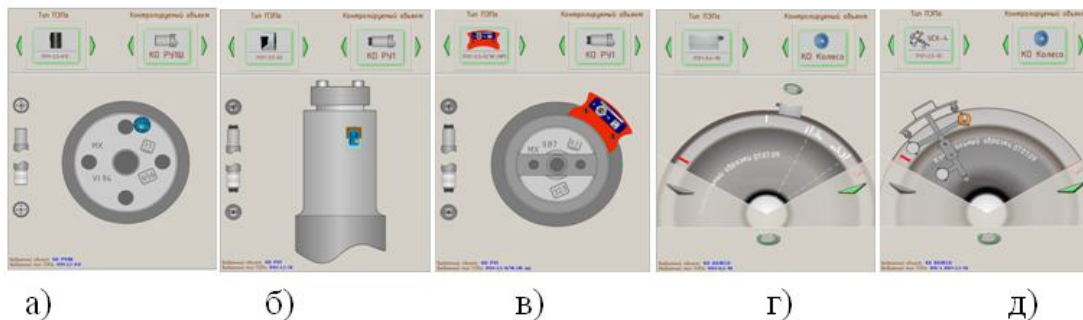


Рис. 2 Интерактивные модели ПЭП и объектов контроля: а) оси РУ1-Ш с торца, б) оси РУ1 с зарезьбовой канавки, в) РУ1 с цилиндрической поверхности шейки, г) колеса с поверхности катания, д) колеса с внутренней стороны

Тренажер дефектоскопа внедрен в учебный процесс Института перспективных транспортных технологий и переподготовки кадров СГУПС и используется при периодическом повышении квалификации специалистов по ультразвуковому контролю. Основной методической целью практических занятий с тренажерами является изучение органов управления и системы меню дефектоскопа, отработка навыков управления дефектоскопом на этапе настройки.

## **Выводы**

Анализ опубликованных работ показал, что существующие программные продукты ориентированы на совершенствование теоретического обучения, изучение органов управления и системы меню, демонстрацию функциональных возможностей дефектоскопов.

Создан программный тренажер ультразвукового дефектоскопа УД2-102 (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010615213), обеспечивающий изучение дефектоскопа и отработку навыков проведения настройки, контроля и измерения характеристик обнаруживаемых дефектов в широком спектре параметров контроля.

Разработанная учебно-методическая документация встроена в подпрограмму тренажера и обеспечивает процесс обучения в соответствии с индивидуальными способностями специалистов.

При внедрении тренажеров в учебный процесс за счет снижения затрат на приобретение и ремонт дефектоскопов, уменьшения требований к материально-техническому обеспечению учебного процесса экономический эффект составляет более 200 тыс. в год на один тип дефектоскопа.

## **Список использованных источников**

1. Повысить эффективность неразрушающего контроля, Евразия Вести, I, 2004 г.
2. Обеспечить гарантированную безопасность перевозок, Евразия Вести, XII, 2009 г.
3. Начальник департамента управления персоналом ОАО «РЖД» Любовь Васина, Знания в цене, газета «Гудок» от 25.03.2010 г.
4. Попов В.Е. О некоторых аспектах проблемы безопасности человеческого фактора, Евразия Вести, №6, 2004 г.
5. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. - М.: "Филинь", 2003. - 616 с.

# ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

*Долганёв Ю.Г., Серикпай А.О.*

*Омский государственный технический университет, г. Омск*

Задача температурной стабилизации устройств на пьезоэлектрическом эффекте (кварцевые резонаторы на ОАВ (объёмные акустические волны), устройства на ПАВ (поверхностные акустические волны)) решаются методами: термостатирования и термокомпенсации. Методы термокомпенсации подразделяют на цифровую и физическим воздействием на объект устройства. Цифровая термокомпенсация решается аппаратными методами с применением микропроцессоров. Слабым звеном здесь является датчик температуры с конечной точностью. На современном уровне эта проблема (слабое звено) успешно решается статистическими методами обработки сигнала. Данный метод имеет область наиболее эффективного применения, в основном, это кварцевая стабилизация частоты. Метод физического воздействия малоизучен, однако, может быть применим как в устройствах кварцевой стабилизации частоты [1], так и в на устройствах ПАВ[2]. Преимуществом данного метода является совокупность сигнала, осуществляющего основную функцию например: резонансная частота кварцевого резонатора и управляющего этим параметром физического воздействия. Отличительной, положительной чертой данного метода является то, что функциональные и управляющие сигналы действует в одном твердом теле являющимся однородной средой (континуальная среда), что исключает наличие дополнительных звеньев вносящих погрешность, а также, создаёт условия однозначной реакции на любые внешние воздействия. Задача данной работы - анализ существующих методов термокомпенсации узкополосных фильтров на ПАВ.

Влияние температуры на параметры

На рисунке 1 показан спектр широкополосного фильтра на ПАВ. Как видим, спектр частоты широкополосного фильтра очень большой, и уход центральной частоты от заданного значения при температурной нестабильности не влияет на заданные параметры. Рассмотрим узкополосный фильтр на ПАВ (рисунок 2) , который состоит из пьезоэлектрической подложки и встречно-штыревых преобразователей (ВШП), сформированных на рабочей поверхности пьезоэлектрической

(кварцевая подложка ST-среза). Подложки из монокристаллического кварца ST-среза имеют минимальное значение ТКЧ (температурный коэффициент частоты). Недостатком такого фильтра является, в ряде случаев, недопустимый уход центральной частоты при изменении температуры. Это особенно заметно для узкополосных фильтров на ПАВ, даже при использовании пьезоэлектрических подложек из монокристаллического кварца с минимальным значением ТКЧ. Так, например, при температуре 80°C изменение частоты для фильтров на кварцевых подложках ST-среза составляет  $\delta F/F = 150 \cdot 10^{-6}$ .

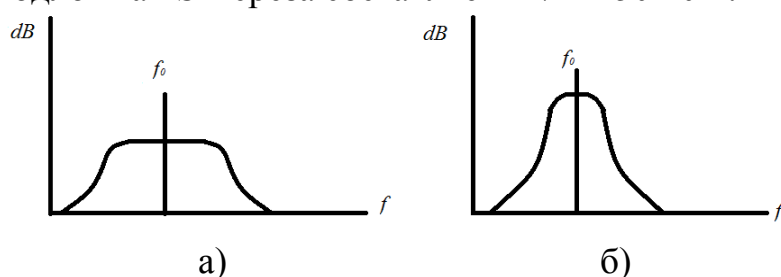


Рис. 1. а) спектр широкополосного фильтра; б) спектр узкополосного фильтра;  
 $f_0$  - центральная частота фильтра;

Рассмотрим способ термокомпенсации в узкополосном фильтре на ПАВ, с использованием биметаллической пластины на нерабочей стороне пьезоэлектрической подложки (рисунок 3)[2]. На рабочей стороне наносятся ВШП. Биметаллическая пластина жестко крепится с нерабочей стороны пьезоэлектрической подложки и обладает КЛТР (коэффициент линейного термического расширения) превышающим КЛТР пьезоэлектрической подложки. При изменении температуры окружающей среды происходит изгиб системы пьезоэлектрическая подложка - биметаллическая пластина. При деформации пьезоэлектрической подложки изменяется расстояние между ВШП и образуется стрела прогиба.

Для фильтра на ПАВ с центральной частотой 65,128 кГц, пьезоэлектрической подложкой YXL/42<sup>0</sup>45<sup>1</sup>, размерами: длина подложки-34мм, ширина-6мм, толщина-1мм приводятся экспериментальные данные. Начальная температура термокомпенсации 35°C<sup>0</sup>. Частота фильтра при изменении температуры от 20°C до 35°C, уменьшается на 2 кГц. При этом зазор между стойками и подложкой должен составлять 8 мкм. В качестве биметаллической пластины использовалась пластина из алюминия, толщиной 0,5 мм, скрепленная с пластиной из стали толщиной также 0,5 мм. Температурная компенсация ухода частоты начиналась с 35°C до 70°C. При этом уход



частоты при изменении температуры от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$  не превышал 2 кГц.

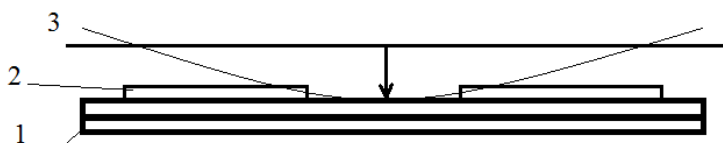


Рис. 2. Пьезоэлектрическая подложка скрепленная с биметаллической пластиной: 1-рабочая часть подложки на которую наносится ВШП; 2-прикрепленные биметаллические пластины; 3-стрела прогиба при деформации;

Недостатком данного метода является:

Использование звена крепления биметаллической пластины имеет недостатки: а) нестабильность за счёт люфта прямого и обратного хода; б) низкая надёжность устройства, в целом, из-за ограниченного числа циклов в месте крепления. При этом сам фильтр имеет, практически, неограниченный ресурс.

Еще одним из способов позволяющих осуществить термокомпенсацию гармониковых резонаторов, является создание в резонаторе термозависимого давления[1]. Для этого был разработан силовой кольцевой пьезодвигатель, воздействующий на резонатор.

Конструкция термокомпенсированного резонатора показана на рисунке 3. Устройство содержит кристалл пьезорезонатора 1, вставленный в паз пьезоэлектрического кольца 2, склеенных из несколько частей; на торцевые поверхности кольца нанесены электроды 3, подключенные к выходу управляющего устройства 4, вход которого соединен с выходом синтезатора компенсирующей функции 5. К входу синтезатора подключен термодатчик 6, закрепленный в непосредственной близости кристалла.

В основном кольцо ПД (пьезодвигателя) выполняется клееным, это делается чтобы пьезокристалл перед склеиванием можно было вставить в паз кольца.

Принцип работы: пьезокерамика кольца была поляризована так, чтобы при подаче на электроды постоянного напряжения размер кольца изменялся в радиальном направлении. Так как пьезокристалл резонатора закреплен в пазе кольцевого ПД, изменение радиального размера рабочего органа ПД приводит к сжатию растяжению пьезорезонатора, что влечёт к резонансной частоте колебаний пьезокристалла. Постоянное напряжение подаётся с БУ (блока управления). Величина напряжения зависит от температуры окружающей среды которая определяется термодатчиком в СУ (система устройства) пьезопривода введен в синтезатор компенсирующей

функции, который в каждой температурной точке формирует компенсирующий сигнал, потому что, ТЧХ пьезокристалла имеет нелинейный характер.

Практически синтезатор компенсирующей функции может быть реализован в виде термозависимого потенциометра, ПЗУ (постоянное запоминающее устройство) большого объема или микропроцессора. Наивысшая точность достигается синтезатором который выполнен в виде цифрового устройства.

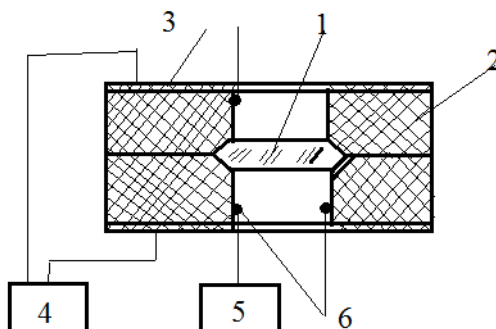


Рис. 3. Конструкция термокомпенсированного резонатора

Наиболее оптимальным термокомпенсированным фильтром на ПАВ в однородной среде, является фильтр, состоящий из пьезоэлектрической подложки и ВШП (встречно-штыревые преобразователи), сформированными на рабочей поверхности, и управляющих электродов на противоположной рабочей стороне подложки[4]. Для того чтобы уменьшить температурный уход частоты на управляющих электродах создают дополнительное электрическое поле, под действием которого происходит деформация кристалла, приводящая к изменению расстояния между ВШП, и изменение условия прохождения акустического сигнала за счет вариации упругости подложки. Таким образом, при изменении управляющего напряжения, подводимого к электродам, происходит изменение задержки электрического сигнала, что позволяет также изменять центральную частоту фильтра на ПАВ и тем самым компенсировать температурную зависимость частоты фильтра на ПАВ.

### **Заключение**

Проведенный анализ показал актуальность теоретических и экспериментальных исследований в области термокомпенсации радиокомпонентов на ПАВ. При этом наиболее перспективным является направление, связанное с образованием полезного сигнала и управляющего в одном твердом теле. Диапазон температурной компенсации как в отрицательной, так и в положительных областях удовлетворяет широкий класс требований[4].

### **Список информационных источников**

1. Патент на устройство: А.с. 107881 СССР. «Термокомпенсированный пьезоэлектрический резонатор». Авторы А.В. Косых, А.Ф. Плонский, Ю.Г. Долганёв. Опубликовано 1984.
2. Патент на устройство: «Способ повышения температурной стабильности узкополосного прибора на ПАВ», автор Корж И.А. // [www.findpatent.ru](http://www.findpatent.ru) российский сайт патентов. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/226/2260902.html>
3. Патент на устройство: «Piezoelectric relay», авторы Herbert Krautwald и Helmut Schedele. // <http://www.freepatentsonline.com> сайт бесплатных патентов. URL: <http://www.freepatentsonline.com/3365592.pdf>
4. В.И. Речицкий. Акустоэлектронные радиокомпоненты. Москва, Радио и связь, 1987.

## **САНАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ НАНЕСЕНИЯ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ ПОКРЫТИЙ**

***Шорохова Е.П.***

*Гимназия №1 им. А.С.Пушкина, г. Томск*

Использование трубопроводов из металлических труб на протяжении долгих лет ведет к увеличению риска аварий на трубопроводах. Стальные трубы при контакте с водой подвержены коррозии, в результате которой, на внутренней поверхности трубы образуются отложения, препятствующие нормальной перекачке воды, требующие повышения напора и, соответственно, больших затрат электроэнергии.

Продолжительная коррозия приводит к последствиям в виде точечного или площадного уменьшения толщины стенки. Также вследствие процессов старения в соединениях трубопроводов, в их уплотняющих системах, или в результате внешнего воздействия, как повреждения, подвижки или сотрясения, могут возникать не герметичности и утечки в трубопроводных сетях.

Помимо этой существует еще одна проблема – это качество питьевой воды, которая становится непригодной к употреблению по санитарным нормам. Перед нами стоит задача увеличения долговечности труб, применяемых в коммунальном хозяйстве и теплоэнергетике, где срок их службы в зависимости от способа прокладки, условий эксплуатации, вида теплоизоляции и т.п. в 3–5 раз ниже нормативного.

Если ранее для решения этих проблем применяли обычный ремонт или дорогостоящую замену труб, то на сегодняшний день используются технологии санации.

Эти технологии, являясь более дешевой альтернативой замене труб, позволяют работать без серьезных нарушений в дорожном движении, что в крупных городах может являться самым важным фактором при выборе методов производства работ.

#### **Технологическое описание метода.**

Цементно-песчаные покрытия являются надежным средством ликвидации различного рода дефектов на внутренней поверхности стальных и чугунных труб, а также антикоррозионным материалом.

Технология восстановления трубопроводов методом внутреннего цементно-песчаного покрытия является основным методом восстановления трубопроводов в мировой практике

#### **Область применения метода.**

Область применения метода ЦПП широка. Технология внутренней цементно-песчаной облицовки труб эффективно применяется при восстановлении работоспособности изношенных подземных стальных и чугунных трубопроводов хозяйственно-питьевого, горячего водоснабжения и напорной канализации для санирования старых, инкрустированных и корродированных труб, а также как защита от коррозии для новых труб и трубопроводов из стали и чугуна. Работы по нанесению цементно-песчаных покрытий должны включать проведение подготовительных технических мероприятий. Работы не производятся при установившейся среднесуточной температуре наружного воздуха менее 5 °С.

Метод целесообразен при следующих видах повреждений: коррозионные обрастания, абразивный износ.

Неэффективен при: раскрытых стыках труб, смещении труб в стыках, деформации секций труб, при разветвленной сети, включающей трубопроводы разного диаметра, т.к. при нанесении покрытий может произойти закупорка ответвлений (перемычек) с меньшими проходными сечениями.

#### **Материалы.**

Материалом являются жидкие цементно-песчаные растворы.

Не надо забывать, что компоненты смеси должны отвечать определенным требованиям.

Подготовленная к нанесению на внутреннюю поверхность трубопровода цементно-песчаная смесь должна быть хорошо перемешана, однородна и перед нанесением на трубопровод иметь температуру +10....25С. [7]

У этого метода много достоинств. Главное защитное свойство цементного слоя состоит в способности предотвращать коррозию металла. Цементно-песчаный слой представляет собой пористую массу, чем выгодно отличается от других покрытий, где требования герметичности совсем иные. При постоянном контакте с водой в поры покрытия проникает вода, происходит реакция гидратации цемента с образованием раствора гидроокиси кальция. В итоге сталь пассивируется за счет образования защитного слоя из окислов железа.

К сожалению, у данного метода есть и недостатки. При интенсивной эксплуатации трубопровода может происходить механическое или химическое разрушение защитного слоя.

Обстоятельства показанные на слайде необходимо учитывать при принятии решения о реновации трубопровода, т.к. в совокупности может оказаться, что данная технология может быть нецелесообразна.

### **Виды применяемых методов санации цементно-песчаным раствором.**

Для выполнения работ по санации трубопроводов методом нанесения цементно-песчаного покрытия (ЦПП) на внутреннюю поверхность труб используются три различные технологии: поршневой метод, нанесение покрытия центробежным набрызгом, нанесения ЦПП методом центрифугирования.

#### **Очистка трубопроводов.**

Перед нанесением цементно-песчаного покрытия проводится очистка внутренней поверхности трубы с помощью специальных скребковых устройств.

Технологии очистки: механическая очистка, очистка под высоким давлением, гидравлическая очистка

#### **Телеинспекция.**

Работы по санации и восстановлению трубопроводов независимо от применяемого метода в обязательном порядке должны предваряться комплексному диагностическому инспекционному контролю трубопровода и его эффективной прочистке. Контроль проводится до и после санации (для оценки качества работ). Внутренняя инспекция с целью диагностики состояния водопроводных трубопроводов большого диаметра предусматривает визуальный контроль, а малых диаметров – телеконтроль специальными роботами. Предварительный телевизионный контроль внутренней поверхности трубопровода позволяет точно определить объем работ и выявить дефекты трубопровода.

Обнаруженные в результате телеинспекции дефекты могут быть сгруппированы в две основные категории: дефекты структурные, дефекты, вызванные некачественным монтажом труб.

### **Используемые оборудование и материалы.**

Нанесение цементно-песчаных покрытий на внутренние стенки трубопроводов выполняется методом центробежного набрызга с использованием разглаживающих устройств. Расчет производим на 100 м трубопровода для санирования внутренней поверхности трубопроводов цементно-песчаным раствором диаметром Ду 400 мм толщиной слоя 7 мм, глубина заложения трубопровода 2 метра.

### **Список информационных источников**

1. <http://line.od.ua/article12.html>
2. <http://www.vskcenter.ru/trenchless/59>
3. [http://no-dig.com.ua/ru\\_tehno\\_son\\_nabruzgovue.php](http://no-dig.com.ua/ru_tehno_son_nabruzgovue.php)
4. <http://www.dial-progress.ru/library-item.phtml?id=10>
5. <http://www.zevs-r.ru/works/w4.html>
6. <http://www.ingmar.su/solve>
7. <http://www.greenpeak.ru/main/technologies.html?id=30>
8. Письмо «О введении дополнительных территориальных элементных сметных норм и единичных расценок на работы по санированию внутренней поверхности трубопроводов машиной облицовочной». Санкт-Петербург. 9 ноября 2000года №2005-11П323

## **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Лукиных В.М.*

*Гимназия №1 им. А.С.Пушкина, г. Томск*

### **Вводная часть**

С развитием нефтяной и газовой промышленности, увеличением парка трубопроводов на территории России, применение трубы из различных материалов, имеющих различные диаметры и толщину стенок, увеличилась потребность в техническом диагностировании. Одними из распространенных промысловых объектов контроля являются трубопроводы. Обнаружение дефектов, их формы и места расположения – основная задача неразрушающего контроля.

Так как каждый из методов неразрушающего контроля имеет определенную специфику поиска дефектов, то зачастую использование одного метода является недостаточным.

Неоспоримым преимуществом неразрушающего контроля является тот факт, что его можно проводить без остановки производства и, как следствие, без экономических потерь.

### **Комплекс работ по техническому диагностированию промышленных трубопроводов.**

Комплекс работ по техническому диагностированию промышленных трубопроводов в зависимости от категории риска включает в себя следующие этапы:

1. Предварительные работы.
2. Изучение и анализ технической документации, условий эксплуатации трубопровода.
3. Разработка Программы производства работ на основании Типовых программ.
4. Рекогносцировочные работы и исследования трубопровода без вскрытия шурфов, определение потенциально-опасных участков и мест шурфовки трубопровода, уточнение Программы производства работ и утверждение ее.
5. Обследование трубопровода в шурфах:
6. Расчетно-аналитические исследования.
7. Оформление отчета по результатам технического диагностирования.

### **Методы неразрушающего контроля.**

Неразрушающие методы контроля подразделяются на пассивные (интегральные) и активные (локальные).

К активным методам относятся методы, в которых измеряется изменение возбуждаемого физического поля, а к пассивным методам относятся методы, использующие свойства физического поля, возбуждаемого самим контролируемым объектом. Локальные методы позволяют обнаружить дефект лишь на ограниченной площади, а интегральные методы способны проконтролировать весь объект в целом.

Активными методами являются: визуальный и измерительный контроль, ультразвуковая дефектоскопия, магнитные, радиографические капиллярные, метод вихревых токов, электрический.

К пассивным относятся: тепловизионный, виброакустические методы и акустической эмиссии.

### **Выводы.**

Неразрушающий контроль является важнейшим элементом системы экспертизы промышленной безопасности, обеспечивающей техническую безопасность на опасном производственном объекте. За последние годы неразрушающий контроль, выполняя важную функцию

в указанной системе, развивается ускоренными темпами во всех своих составляющих, включая развитие новых методов и методик, создание более совершенной техники, базирующейся на достижениях электроники и вычислительных устройств, повышение требований к персоналу в области неразрушающего контроля.

Неразрушающий контроль в настоящее время находится на очередном этапе скачкообразного развития. Перед ним стоят задачи не только сбора информации о наличии или отсутствии дефектов в контролируемом объекте, но и задачи измерения параметров обнаруженных дефектов в целях определения влияния дефектов на прочность объекта, на возможность его безопасной эксплуатации.



Научное издание

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

Сборник научных трудов  
I Всероссийской конференции школьников, студентов,  
аспирантов, молодых ученых  
«Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле:  
взгляд в будущее»

**Издано в авторской редакции**

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . . . . . 2012. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл. печ. л. 16,81. Уч.-изд. л. 14,15.

Заказ ..... Тираж 50 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONALQUALITYASSURANCE по стандарту BSENISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)