

**Министерство образования и науки РФ**  
**Фонд содействия развитию малых форм предприятий**  
**в научно-технической сфере**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Алтайский государственный технический университет**  
**им. И. И. Ползунова»**  
**Краевое государственное научно-исследовательское**  
**учреждение «Алтайский научно-образовательный**  
**комплекс»**  
**Кафедра информатики, вычислительной техники и**  
**информационной безопасности**

**ИЗМЕРЕНИЕ,**  
**КОНТРОЛЬ,**  
**ИНФОРМАТИЗАЦИЯ**

**Материалы XVIII международной научно-технической**  
**конференции**

**18 мая 2017 г., г. Барнаул**

**Изд-во АлтГТУ**  
**Барнаул – 2017**

УДК 681.2: 62-50:65,05

И 37

**И 37** Измерение, контроль, информатизация: материалы XVIII международной научно-технической конференции. /под ред. Л.И. Сучковой. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – 277 с.

ISBN 978-5-7568-1233-6

Ответственный редактор – Сучкова Л.И., д.т.н., профессор

В сборнике публикуются материалы XVIII международной научно-технической конференции «ИКИ-2017» (доклады и/или их тезисы), проходившей в г. Барнауле в Алтайском государственном техническом университете 18 мая 2017 года. В материалах рассмотрены как вопросы расчета и проектирования информационных, контрольно-измерительных и управляющих систем и их компонент, так и практического применения подобных систем в производстве, медицине, экологии, экономике, образовании, научных исследованиях и других областях науки, техники и народного хозяйства. Материалы представляют интерес для широкого круга ученых и специалистов, работающих в данном направлении.

ISBN 978-5-7568-1233-6

© Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова, 2017

© Лаборатория информационно-измерительных систем АлтГТУ,  
2017

© Кафедра информатики, вычислительной техники и  
информационной безопасности АлтГТУ, 2017



# 1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ

## ЭКОНОМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КЛАССИФИКАТОРОВ

ЖИРНОВ М.А., МАМОНТОВ А.И., ПОПОВА С.А., ТАРАП М.В.

**Введение.** В данной статье речь идёт о создании и ускорении классификаторов текстов в сети Интернет, о наивном Байесовском классификаторе, который хорошо подходит для решения таких задач, и его модификациях.

**Сущность классификатора:** паук, программа анализа, модуль отображения. С помощью такого вида классификатора можно собирать адреса сайтов или некоторых других объектов в сети Интернет и выдавать их пользователю.

Классификатор состоит из:

- Паука, то есть программы, предназначенной для перебора страниц Интернета и занесения информации о них в базу данных.
- Программы анализатора, которая с помощью методов анализа соотносит текст сайта с тем классом, к которому текст, скорее всего, подходит.
- Модуля отображения, который отображает результаты работы паука и программы анализатора в виде, удобном для дальнейшего использования этих результатов.

В том случае, если необходимо постоянно проверять информацию на некоторых сайтах и выдавать пользователю прошедшую проверку информацию, то в классификатор добавляется ещё одна программа – анализатор.

Выделим следующие особенности классификаторов:

1. Медленный перебор страниц Интернет программой-пауком, что в результате приводит к разрастанию базы данных о пройденных страницах Интернет.
2. Медленная работа программы-анализатора, которая требует большого расхода системных ресурсов.

На наш взгляд, эти особенности затрудняют использование классификаторов сайтов на персональных компьютерах обычной мощности и ряде Интернет-хостингов. Обязательным условием быстрого вычислительного процесса является использование дорогостоящих серверов. Некоторые важные задачи вовсе не получается решить за приемлемое время, так, поисковые роботы некоторых Интернет-поисковиков перестраивают свой индекс раз в несколько недель.

### Предполагаемые пути решения и полученные результаты.

Естественный способ борьбы с огромной базой данных адресов страниц при обходе сети Интернет – это ограничение числа страниц, забираемых пауком для каждого сайта.

Мы предлагаем использовать многопоточность для реализации на персональных компьютерах программ обхода сети Интернет, которая может быть реализована с помощью php. Мы реализовали и проверили указанные классификаторы, доказали их эффективность на примере сайтов тематики «Вакансии» и сайтов тематики «Фольклор».

Программа-анализатор допускает гораздо больше возможностей для ускорения. Один из вариантов – это использовать быстрые, простые классификаторы. Например, наивный Байесовский классификатор. В основе наивного Байесовского классификатора [1] лежит теорема Байеса:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)},$$

где  $P(B|A)$  – вероятность наступления события  $B$  при истинности гипотезы  $A$ , то есть вероятность встретить текст  $B$  среди всех текстов класса  $A$ ;  $P(A)$  – априорная вероятность гипотезы  $A$ , то есть безусловная вероятность встретить текст класса  $A$  в текстах;

$P(B)$  – полная вероятность наступления события  $B$ , безусловная вероятность текста  $B$  в текстах;

$P(A|B)$  вероятность гипотезы  $A$  при наступлении события  $B$ , то есть вероятность, что текст  $B$  принадлежит классу  $A$ , именно её надо рассчитать.

Цель классификации состоит в том, чтобы понять, к какому классу принадлежит документ, поэтому сама вероятность не нужна, нужно сравнивать вероятности вида

$$\frac{P(B|A) P(A)}{P(B)},$$

упорядочивать результаты по значению этих величин.

Знаменатель является константой и никак не может повлиять на ранжирование классов, поэтому можно его игнорировать.

Байесовский классификатор представляет документ как набор слов, вероятности которых условно не зависят друг от друга. Этот подход иногда еще называется «bag of words model». Исходя из этого, условная вероятность документа аппроксимируется произведением условных вероятностей всех слов, входящих в документ:

$$P(B|A) \approx P(w_1|A)P(w_2|A) \dots P(w_n|A) = \prod_{i=1}^n P(w_i|A).$$

Подставив это выражение в предыдущую формулу, получим:

$$P(A) \prod_{i=1}^n P(w_i|A).$$

При достаточно большой длине текста придется перемножать большое количество очень маленьких чисел. Для того чтобы при этом избежать появления машинного нуля зачастую пользуются свойством логарифма произведения. Перепишем формулу с использованием логарифма:

$$\log P(A) + \sum_{i=1}^n \log P(w_i|A).$$

Модификации этого классификатора исследовались нами для классификации малых текстов и показали хорошие результаты.

Были построены и исследованы различные модификации Байесовского классификатора:

1. Классификатор, учитывающий распределения длин слов в текстах;
2. Классификатор, учитывающий грамматические признаки. К признаковому описанию текста в этом случае добавляется статистика грамматических признаков: векторы распределения слов по частям речи и глаголов по временам;
3. Классификатор, учитывающий дисперсию, то есть отклонение от ожидаемой частоты слова в тексте как знак удалённости текста от класса. Для каждого слова мера удалённости равна разности частот вхождений – в текст и в среднем по текстам класса – помноженной на весовой коэффициент дисперсии.
4. Классификатор, учитывающий корреляции;
5. Классификатор, учитывающий биграммы – сочетания двух последовательно расположенных в тексте слов;

Нами изучалась точность этих модификаций для документов, полученных на основе коллекции Reuters-21578. Она составила:

Номер модификации	Крупные тексты. Около 1000 символов	Средние тексты, не более 350 символов	Малые тексты, не более 140 символов
1	84%	71%	51%
2	86%	71%	41%
3	88%	69%	32%
4	93%	81%	71%
5	91%	77%	61%

Скорость вычислений Байесовского классификатора может увеличиваться. Подсчёт количества ключевых слов, встречаемых в исследуемых текстах – задача поиска массива слов в тексте, которая эффективно реша-

ется с помощью алгоритма Ахо-Корасик. А для эффективных вычислений линейных сумм можно округлять вещественные числа до целых и распараллеливать вычисления линейных сумм [2].

**Работа выполнена при поддержке** Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-01-00485а)

**Литература. 1.** Сегаран Т. Программируем коллективный разум / Т. Сегаран – СПб: Символ-Плюс, 2008. – 368 с. **2.** Мамонтов А.И. Об использующем суперпозиции способе эффективного вычисления систем линейных полиномов с целыми коэффициентами / А.И. Мамонтов // Интеллектуальные системы. Теория и приложения, том 20, вып. 3, 2016 – с. 58-63.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 107207, Москва, Красноказарменная ул., 14, НИУ “МЭИ”, кафедра математического моделирования, Мамонтову А.И., тел. (8495)3627774. E-mail: [MamontovAI@mpei.ru](mailto:MamontovAI@mpei.ru).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА В WI-FI СЕТИ ТОПОЛОГИИ MESH

АНТИПОВА Л.А., БОРИСОВ А.П.

Относительно недавно технологию Wi-Fi никто не рассматривал серьезно для построения более крупных информационных сетей, например, сетей масштаба предприятия. Основными и явными причинами этого являлись как отсутствие эффективных механизмов защиты от взлома (прослушивания радиоэфира), так и то, что Wi-Fi в таких масштабах не избавляет от проводов, ведь тянуть витую пару приходится к каждой точке.

Сейчас оборудование Wi-Fi значительно эволюционировало. Благодаря концепции MESH можно построить эффективную многоточечную структуру без протягивания проводов, отверстий в стене и дополнительных расходов на монтаж.

Mesh-сети предоставляют решения, интегрирующие различные технологии беспроводного доступа. Возможность организации с помощью mesh-топологии локальных (LAN) и городских (MAN) сетей, легко интегрируемых в глобальные сети (WAN), является положительным фактором и для операторов связи, разворачивающих свои сети в мегаполисах.

Mesh Wi-Fi – это полносвязная сеть, где все узлы могут устанавливать беспроводные или проводные соединения друг с другом, которая описана стандартом IEEE 802.11s.

Топология таких сетей основана на децентрализованной схеме организации связи между активными узлами сети. Узлы доступа не только реализуют себя как абоненты, но и выполняют функции маршрутизаторов (ретрансляторов) для других узлов той же сети. За счет этого появля-

ется возможность создания больших зон покрытия сети с взаимозаменяемыми активными узлами, а также возможность масштабирования (в этом случае новые узлы добавляются в сеть автоматически).

Исходя из вышесказанного, можно выделить следующие возможности:

- создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;
- масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;
- устойчивость сети к потере отдельных элементов (при отказе какой-либо из них происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время).

Так как построение такой сети возможно на устройствах различного вида, например, используя Wi-Fi роутеры или же контроллеры на Wi-Fi чипах, что делает сеть более гибкой, то была организована беспроводная передача данных по каналу Wi-Fi на основе микроконтроллера Wemos d1 mini. Данный контроллер основан на программируемой плате на базе микроконтроллера ESP8266EX с поддержкой Wi-Fi, и доступом к UART, SPI, I2C, GPIO интерфейсам. Это решение является конкурентом аналогов как по цене, так и легкости загрузки программного кода [1].

Структура пакетов MAC-уровня в mesh-сети аналогична стандартному формату пакетов сетей 802.11. Формат заголовка MAC-пакета в mesh-сети полностью соответствует MAC-заголовку пакета данных, определенному в стандарте IEEE 802.11, за исключением поля HT Control (High Throughput Control), предназначенного для поддержки оборудования стандарта IEEE 802.11n. Первые три поля заголовка и поле контрольной суммы FCS присутствуют во всех пакетах MAC-уровня. Отличие MAC-пакетов 802.11s заключается в наличии mesh-заголовка в начале поля данных, который предопределяет разницу в структуре кадра. Этот заголовок присутствует в пакетах данных тогда и только тогда, когда они передаются от mesh-узла к mesh-узлу по установленному между ними соединению, он так же присоединяется к одному из типов (Multihop Action) управляющих пакетов [2].

**Целью работы** является создание собственной mesh-сети посредством Wi-Fi-модулей Wemos D1 mini и экспериментальное исследование работоспособности такой сети в здании.

Для начала уточним конечную структуру отправляемого пакета. Поле данных примет следующий вид:

"TTL : MeshSeqNumber : SSID : data", где

1 – время жизни, 2 – номер в последовательности, 3 – SSID текущей точки при передаче (1-3 выступают в роли mesh-заголовка), 4 – непосредственно передаваемые данные.

Рассчитаем теоретическую дальность передачи информации для одного устройства.

$FSL$  определяется суммарным усилением системы. Суммарное усиление системы считается следующим образом:

$$Y = P_t + G_t + G_r - P_{min} - L_t - L_r,$$

где  $Y$  – суммарное усиление системы (дБ),  $P_t$  – мощность передатчика (дБмВт),  $G_t$  – коэффициент усиления передающей антенны (дБи),  $G_r$  – коэффициент усиления приемной антенны (дБи),  $P_{min}$  – чувствительность приемника на данной скорости (дБмВт),  $L_t$  – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах передающего тракта (дБ),  $L_r$  – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах приемного тракта (дБ).

$FSL$  вычисляется по формуле:

$$FSL = Y - SOM,$$

где  $SOM$  (System Operating Margin) – запас в энергетике радиосвязи (дБ).

Параметр  $SOM$  обычно берется равным 10 дБ. Считается, что 10 - децибелный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

В итоге получаем формулу дальности связи:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL - 33}{20} - lgF\right)},$$

где  $D$  – дальность связи в километрах [3].

Заявленная производителем модуля мощность передатчика составляет 20,5 дБм при 100 мВт, чувствительность составляет -93 дБм при скорости в 6 Мбит/с.

Учитывая коэффициент усиления 3 дБи (так как модуль один, у приемника и передатчика они равны) и отсутствие потери сигнала в коаксиальном кабеле, получаем, что теоретическая дальность связи для двух устройств при указанных данных примерно равна 62 м, что было подтверждено на практике ( $\approx 55$  м).

Для развертывания сети mesh-топологии и проверки передачи данных через посредников был написан код для обработки фрейма, указанного выше. План используемого помещения для эксперимента показан на рисунке 1.

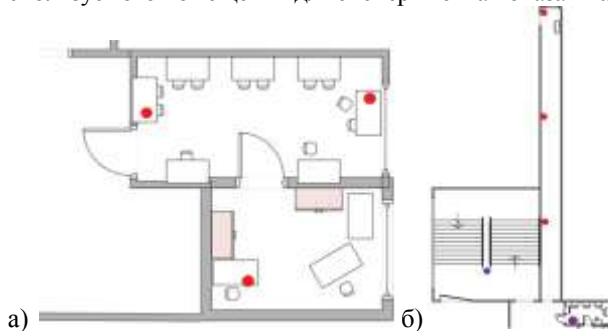


Рис. 1. Расположение точек сети



Исследование также проводилось при трех вариантах размещения 4 устройств. При расположении точек в двух помещениях (рисунок 2а), разделенных смежной стеной, потеря пакетов не наблюдалась.

Если одна точка (например, получатель) остается в помещении, а посредники с отправителем находятся на достаточном расстоянии (таком, что конечную точку видит только один посредник), из пяти пакетов потерялся только один (рисунок 2б).

Также исследование проводилось при различной этажности. Получатель находился в помещении, посредники и отправитель – в отмеченной точке (рисунок 2б), но на различных этажах (первом, втором, четвертом). Установлена потеря только одного пакета. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования

Препятствие	Процент полученных пакетов
Расстояние в 3 м с бетонной стеной	100%
Расстояние в 80 м между отправителем и получателем	80%
Этажность	80%

Исходя из определения стандарта 802.11s, увеличение сети при подключении точек может происходить в любой момент, что позволяет увеличить расстояние между отправителем и получателем.

**Литература. 1.** Антипова Л.А., Борисов А.П. Повышение качества проведения лабораторных работ для студентов специальности Информационная безопасность // Гарантии качества профессионального образования: материалы Международной научно-практической конференции (28 апреля 2017 г., г. Барнаул). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – с. 94-97. **2.** Антипова Л.А., Борисов А.П. Использование MESH-топологии при организации Wi-Fi сети // Проблемы внедрения результатов инновационных разработок: сборник статей Международной научно – практической конференции (15 января 2017 г., г. Екатеринбург). В 3 ч. Ч.2 / – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – с. 8-10 **3.** Сравнение дальности действия радиоканальных систем диапазонах 433 и 868 МГц, 2,4 ГГц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tinko.ru/article-45> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 30.04.2017).

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, 401а Пк, Факультет информационных технологий, кандидату технических наук, доценту, Борисову А.П., тел. 8(385-2) 29-07-18. E-mail: boralp@mail.ru

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАБОРАТОРНОГО КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

КРИВОБОКОВ Д.Е., СОЛОВЬЕВ В.А., СМИРНОВ А.М.

Современные аналитические приборы контроля в подавляющем большинстве случаев используют микропроцессорные устройства и микроконтроллеры для обработки результатов измерений. Связано это, помимо организации удобного интерфейса, с возможностью эффективно управлять измерительным процессом для повышения точности измерений. В частности, появляются условия для формирования управляемого сканирующего воздействия на объект измерений с целью более детального анализа его отклика. В основе анализа лежит вычислительная модель, построенная для системы «датчик-объект измерений».

**Целью работы** является разработка методики расчёта параметров лабораторного контактного датчика удельной электропроводности, взаимодействующего с исследуемой жидкостью.

Кондуктометрические датчики для лабораторного анализа жидких сред, как правило, представляют собой ёмкость, заполняемую жидкостью и выполненную из диэлектрических материалов, внутри которой размещаются металлические электроды, традиционно выполненные из платины. Один из вариантов подобного датчика – кондуктометрической ячейки представлен на рис. 1.



Рис. 1 Лабораторный кондуктометрический датчик (ячейка)

Поскольку природа электропроводности в металлах и электролитах различается, при протекании электрического тока, на границе «металл-жидкость» возникают электрохимические процессы, обуславливающие изменение импеданса датчика в целом [1]. В результате, для определения

удельной электропроводности (УЭП) жидкости недостаточно применения лишь закона Ома, поскольку требуется учитывать влияние всех параметров датчика, значимо участвующих в формировании его импеданса.

Один из эффективных способов определения параметров электрической проводимости ячейки основан на разработке и синтезе электрической модели, отражающей основные электрохимические и электрические процессы, как в самой ячейке, так и в окружающем её пространстве. Подобные модели строятся, исходя из известных физических принципов, лежащих в основе природы электропроводности раствора, взаимодействия проводников различного рода, а так же возникновения электрических связей. Типовая электрическая эквивалентная схема замещения (ЭЭСЗ) для платиновых электродов представлена на рис.2.

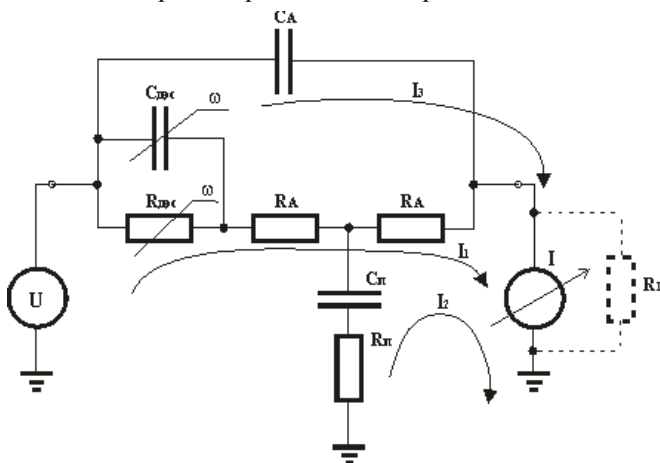


Рис. 2. Электрическая эквивалентная схема замещения кондуктометрической ячейки с платиновыми электродами

$C_{дэс}(\omega)$ ,  $R_{дэс}(\omega)$  – электрическая ёмкость и активное сопротивление, относящиеся к приэлектродным процессам в электролите;  $C_A$ ,  $R_A$  – собственные ёмкость и активное сопротивление жидкости в ячейке;  $C_п$ ,  $R_п$  – паразитные ёмкость и активное сопротивление кондуктивной ячейки;  $R_I$  – входное сопротивление измерителя электрического тока; «U» – источник сканирующего сигнала; «I» – измеритель электрического тока.

Система электрических уравнений, соответствующая ЭЭСЗ (рис. 2), имеет следующий вид:

$$\begin{cases} I_1 \cdot (Z_1(\omega) + R_A + R_A + R_I) + I_2 \cdot (Z_1(\omega) + R_A) + I_3 \cdot R_I = U \\ I_1 \cdot (Z_1(\omega) + R_A) + I_2 \cdot (Z_1(\omega) + R_A + Z_5(\omega)) + I_3 \cdot R_I = U \\ I_1 \cdot R_I + I_3 \cdot (Z_4(\omega) + R_I) = U \end{cases} \quad (1)$$

где

$$Z_1(\omega) = \frac{1}{\frac{j \cdot \omega \cdot C_{ДЭС} \cdot R_{ДЭС}}{1} + R_{ДЭС}} - \text{сопротивление приэлектродной области};$$

$$Z_4(\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_A};$$

$$Z_5(\omega) = R_{П} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_{П}} - \text{сопротивление утечки};$$

$\omega$  – циклическая частота колебаний сканирующего сигнала.

В системе уравнений (1) наиболее сложный вид имеет составляющая  $Z_1(\omega)$ , соответствующая зависимости комплексного сопротивления приэлектродной области кондуктометрической ячейки от частоты колебаний сканирующего сигнала.

Для расчёта электрической проводимости используются значения контурных токов  $I_1$  и  $I_3$ :

$$G = \frac{(I_1(\omega) + I_3(\omega))}{U}. \quad (2)$$

Вычисление значений контурных токов  $I_1$  и  $I_3$  производится при помощи матричного метода решения системы линейных уравнений (метод обратных матриц).

Для этого при использовании (1) составляется матрица сопротивлений:

$$Z(\omega) = \begin{pmatrix} Z_1(\omega) + R_A + R_A + R_I & Z_1(\omega) + R_A & R_I \\ Z_1(\omega) + R_A & Z_1(\omega) + R_A + Z_3(\omega) & 0 \\ R_I & 0 & Z_4(\omega) + R_I \end{pmatrix}; \quad (3)$$

а так же матрица «правых частей», в данном случае связанных с напряжением сканирующего сигнала:

$$Um = \begin{pmatrix} U \\ U \\ U \end{pmatrix}. \quad (4)$$

При использовании матрицы, обратной  $Z(\omega)$ , вычисляется вектор (одномерная матрица), содержащий токи в каждом контуре ЭЭСЗ (рис. 2):

$$I(\omega) = Z(\omega)^{-1} \cdot Um. \quad (5)$$

Таким образом, результатом вычисления выражения (5) является вектор (одномерный массив), содержащий комплексные значения трех контурных токов, на основании которых, используя (2), рассчитывается электрическая проводимость кондуктометрической ячейки.

Методика расчета электрической проводимости модели кондуктометрической ячейки применяется для определения значений компонентов ЭЭСЗ – активных сопротивлений и электрических ёмкостей, входящих в состав (1). Для этого используются результаты эксперимента, полученные в ходе измерения импеданса кондуктометрической ячейки при различных частотах сканирующего сигнала. Путём вариации (подбора) значений компонентов ЭЭСЗ, необходимо добиться значений расчетной проводимости (2), максимально близких к экспериментальным значениям. При этих условиях проводимость жидкости, находящейся в измерительном объеме, определяется элементом  $R_A$  (рис. 2):

$$G_{Ж} = \frac{1}{2 \cdot R_A} ; \quad (6)$$

где  $G_{Ж}$  – проводимость жидкости, находящейся в измерительном объеме.

Подбор параметров ЭЭСЗ реализуется при использовании модифицированного стохастического метода на основе экспериментальных данных. Модификация связана с учетом взаимного влияния изменений значений параметров ЭЭСЗ на результат расчета (5). При этом параметры ЭЭСЗ изменяются случайным образом, приближая расчётную и экспериментальную характеристики. Выбор данного метода обусловлен его слабой чувствительностью к виду функциональной зависимости, для которой определяются коэффициенты (параметры ЭЭСЗ), что важно на исследовательском этапе моделирования.

Алгоритм методики содержит следующие этапы:

1) установить начальные значения параметров ЭЭСЗ (3), с точностью до порядка;

2) выполнить подбор значений параметров ЭЭСЗ при условии грубого приближения – максимально-возможное изменение параметров до 10%. Количество итераций устанавливается из расчёта минимум  $10^3$  на один параметр. В случае (3), около  $10^4$ ;

3) определить среднее расхождение для каждой точки экспериментальных данных и расчетных значений;

4) в случае, если результаты грубого приближения существенно отличаются от экспериментальных данных – среднее расхождение превышает 100%, необходимо выполнить п. 2 ещё раз. При повторении результата, необходимо изменить начальные условия, п. 1;

5) приравнять начальные значения к значениям, полученным в ходе грубого приближения, п. 2;

6) выполнить подбор значений параметров ЭЭСЗ при условии точного приближения – максимально возможное изменение параметров до 0.1%.

Количество итераций устанавливается из расчёта минимум  $10^4$  на один параметр. В случае (3), около  $10^5$ ;

7) повторять п. 6 до окончания изменений значений параметра  $R_A$  (3) в допустимых пределах – изменения менее 0,01%;

8) вычислить  $G_X$  по результатам подбора, используя (6).

Особенности методики подбора параметров, основанной на стохастических алгоритмах, связаны с большими затратами времени при определении искомого параметра. Однако их универсальность позволяет применять различные вычислительные модели без существенного изменения программного обеспечения прибора в целом.

Таким образом, внедрение алгоритмов в программное обеспечение прибора контроля, реализующих предложенную методику определения параметров лабораторного кондуктометрического первичного преобразователя, позволило расширить диапазон измерений УЭП более чем на два порядка. Подобное стало возможным благодаря исключению из результата измерений влияния неинформативных воздействий посредством применения вычислительной модели на основе ЭЭСЗ ячейки и стохастического алгоритма поиска значений её параметров. Кроме того, данный принцип обработки измерительной информации позволяет обеспечить заявленный класс точности кондуктометрического прибора контроля при смене материала электродов первичного преобразователя на нержавеющую сталь. В этом случае вид ЭЭСЗ несколько усложняется ввиду «неидеальной» поляризуемости материала по сравнению с платиной.

**Литература. 1.** Плэмбек Дж. Электрохимические методы анализа. Основы теории и применение / Дж. Плэмбек. – Мир, 1985. – 253 с.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина 46, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кандидат технических наук, Кривобоков Д.Е., E-mail: dmitriikrivobokov@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РЕЛЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОТОЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ**

ВОРОБЬЕВ Д.С., ЯКУНИН А.Г.

Терморегулирование в проточных водонагревателях производится за счет взаимодействия датчиков температуры и нагревательных элементов[1]. Включение, выключение или изменение мощности нагревательных элементов происходит только после получения информации с датчиков температуры. Месторасположение таких устройств играет важную роль в процессе терморегулирования. Расположенные слишком близко к источнику тепла, они будут выдавать неверную информацию о темпера-

туре воды. При их расположении далеко от зоны нагрева усиливается влияние транспортного запаздывания [2], что делает процесс совершенно неэффективным.

Построение исследуемой модели проточного водонагревателя производилось с помощью программы SolidWorks, а для исследования распространения и распределения тепла был использован её модуль SolidWorks flow Simulation.

Процесс нагрева воды задавался следующими параметрами: начальная температура воды:  $15^{\circ}\text{C}$ , твердотельных элементов и внешней среды:  $22^{\circ}\text{C}$ , скорость потока воды  $0,15 \text{ кг/с}$ , давление окружающей среды  $101325 \text{ Па}$ , мощность тепловыделения нагревательного элемента  $15 \text{ кВт}$ , время работы системы  $150 \text{ секунд}$ .

Для исследования температур текучей среды были выбраны 4 точки. Точка 1 задавалась непосредственно около нагревательного элемента на расстоянии  $0,5 \text{ см}$  от него, точка 2 – на расстоянии  $9,5 \text{ см}$ , точки 3 и 4 – на расстоянии  $57,5$  и  $102,5 \text{ см}$  соответственно. Модель проточного водонагревателя с выделенными граничными условиями, а также точки, в которых будут производиться измерения температур, представлены на рис. 1.

На рис.2 представлено общее распределение температур при статичном нагреве за  $100 \text{ секунд}$  работы системы с шагом в  $20 \text{ секунд}$ .

Как видно из данного рисунка, точка 1 находится в температурной зоне не почти в 2 раза превышающей температуры в других точках. Отсюда можно сделать вывод, что температура воды в данной точке не соответствует реальной температуре на выходе водонагревателя, а значит, эта точка не может использоваться для установки датчика температуры системы терморегулирования.



Рис. 1. Модель проточного водонагревателя и точки, в которых будут производиться измерения температур

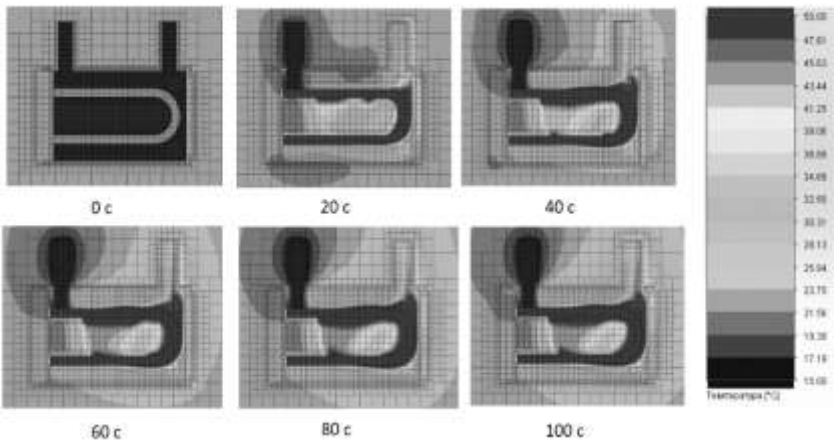


Рис. 2. Общее распределение температур при статичном нагреве

Исследование влияния расположения датчиков температуры на процесс терморегулирования было выполнено для случая релейного управления. Нагревательный элемент выключался при достижении температуры текущей среды в  $30^{\circ}\text{C}$  и включался при температуре  $29^{\circ}\text{C}$ . Для получения информации о температуре использовались точки 2, 3 и 4. Полученные в результате проведения вычислительного эксперимента графики временных колебаний температуры теплоносителя сразу после запуска системы и последующего перехода в установившийся режим представлены на рис. 3.

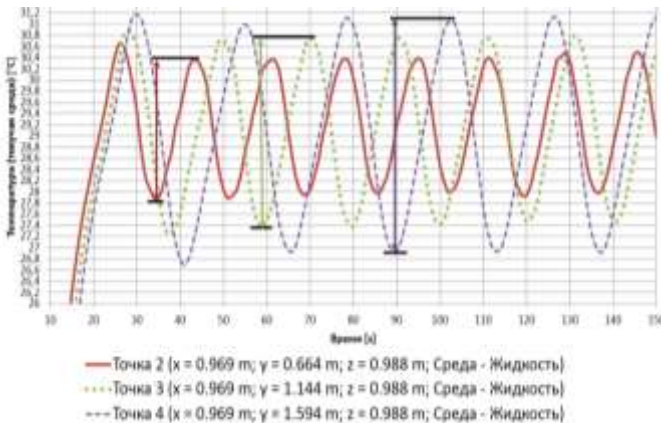


Рис. 3. График температур текущей среды при релейном управлении



Полученные графики позволяют сделать вывод, что точка 2 является более приемлемой для установки датчика температуры, чем точки 3 и 4, так как в данной точке имеется наименьший разброс температур текучей среды при терморегулировании. В точке 4 разброс составляет в среднем  $4,2^{\circ}\text{C}$ , в точке 3 это  $3,4^{\circ}\text{C}$ , а в точке 2 это  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, можно определить оптимальное месторасположение датчиков температуры и для других конструктивных решений, а также при использовании PID – регулятора, что позволит сделать процесс терморегулирования еще более эффективным.

**Литература. 1.** Технические характеристики проточных водонагревателей [Электронный ресурс] / Режим доступа -[http://www.stelmarket.ru/teh\\_inf/39.htm](http://www.stelmarket.ru/teh_inf/39.htm) – свободный **2.** Майзель М.М. / Телемеханика и системы управления производственными процессами [Текст]: Учебное пособие для студентов вузов / М.М. Майзель.-М.: 1972.– с. 242

## **СОЗДАНИЕ МАКРОСА В СРЕДЕ SOLIDWORKS ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОПАСТИ ВОЗДУШНОГО ВИНТА**

ЛЕН С.А., ГРЕБЕНЬКОВ А.А.

В наше время не существует единой методики для определения параметров воздушного винта. Ввиду большого количества условий, влияющих на работоспособность воздушного винта, конструкторы по всему миру разрабатывают алгоритмы их расчетов, как теоретических, так и практических. Зачастую подбор характеристик воздушного винта ведется методом выбора из числа уже имеющихся воздушных винтов, т.е. винтов, испытанных в аэродинамических установках. В большинстве случаев таким методом исследуются воздушные винты для «большой» авиации, связанной с использованием крупных самолётов, способных нести большую нагрузку. Для транспорта сверхлегкой авиации винты изготавливаются индивидуально для конкретного средства. Таким образом, для выбора воздушного винта в настоящее время ставится задача его последовательного расчета и проектирования [1].

В основном расчет параметров воздушного винта ведется по вихревой теории, ручной расчет по которой занимает значительное время. В настоящее время существуют алгоритмы расчета, ориентированные под численные методы [2].

На рис. 1 представлена схема обтекания сечения лопасти в обратном движении, на которой показаны характерные углы и компоненты скоростей, где:  $V$  – поступательная скорость винта;  $\omega$  – угловая скорость вращения;  $v_a$  и  $v_t$  – осевая и тангенциальная составляющие индуктивной скорости  $v$ ;  $W$  – скорость притекания потока;  $c$  – хорда сечения лопасти;  $\alpha$

– угол атаки;  $\alpha_i$  – угол индуктивного скоса потока;  $\gamma$  – угол установки сечения;  $\beta$  – угол притекания невозмущенного потока;  $\varphi$  – угол притекания возмущенного потока. Индуктивная скорость  $v$  перпендикулярна результирующей скорости  $W$ .

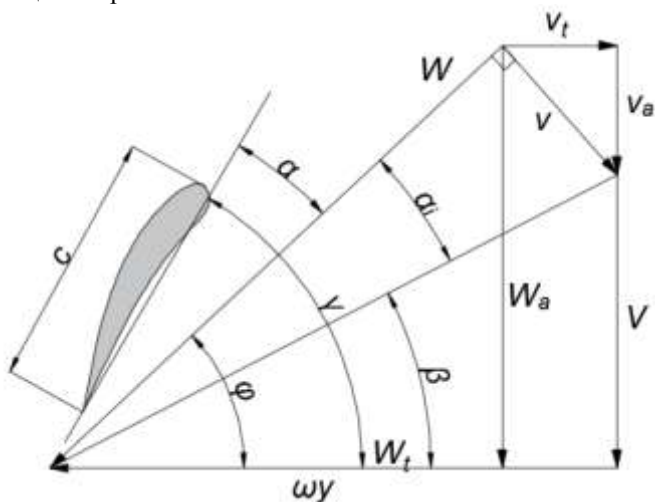


Рис. 1. Схема обтекания лопасти

В работе Н.В. Левшонкова «Методика проектировочного расчёта иррациональный выбор параметров воздушного винта при разработке многорежимных летательных аппаратов» приводится формула для расчета параметров воздушного винта с использованием безразмерных характеристик:

$$N_b \bar{c} C_y \bar{W}^2 = 8\pi r F(\zeta + \zeta^2 \cos \varphi), \quad (1)$$

где  $N_b$  – количество лопастей,  $\bar{c} = c/R$  – относительная хорда лопасти,  $\bar{W}^2 = 3\zeta^2 + \chi^2 + 1$ ,  $N_b$  – число лопастей винта,  $\zeta = v/V$  – отношение индуктивной скорости к поступательной,  $r = y/R$  – относительный радиус,  $F$  – функция потерь Прандтля [3], которая вычисляется по формуле:

$$F = \frac{2}{\pi} \arccos(e^{-f}), \quad f = \frac{N_b(1-r)}{2 \sin \varphi_T}, \quad (2)$$

где  $\varphi_T$  – значение угла  $\varphi$  на конце лопасти.

Величина  $\zeta$  является критерием эффективности воздушного винта. Данная величина связана с углом  $\varphi$  через формулу:

$$\cos \varphi + \zeta = \chi \sin \varphi, \quad (3)$$

где  $\chi = \frac{\omega y}{v}$ .

Используя равенство (4) можно вычислить угол притекания возмущенного потока при заданных остальных значениях величин, а задав про-



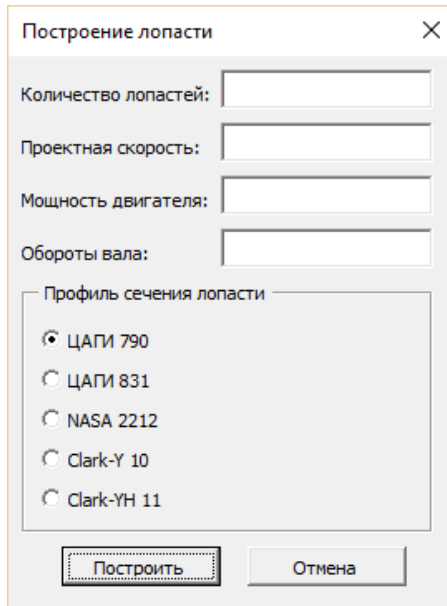


Рис. 3. Главное окно макроса

Форма имеет простой интуитивно понятный интерфейс. После нажатия кнопки «Построить» по заданным параметрам строится модель лопасти воздушного винта. На рис. 4 представлен пример построения лопасти по заданным параметрам.

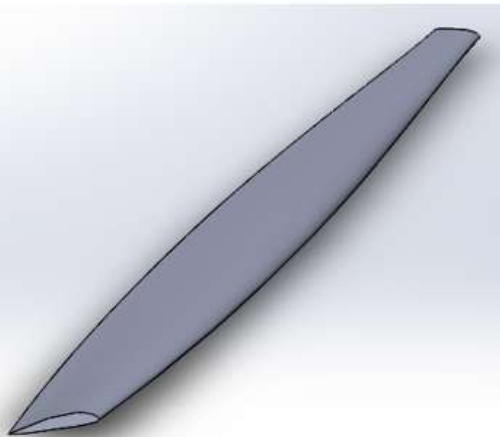
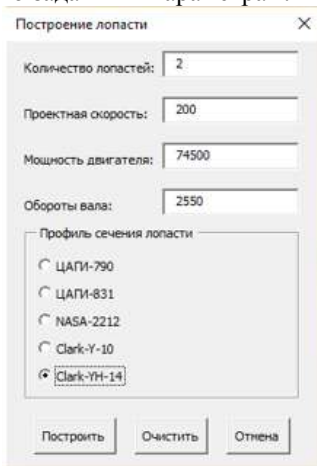


Рис. 4. Пример построения лопасти

В дальнейшем данную модель можно использовать в проектировочных сборках, а также для расчета аэродинамических параметров с использованием среды SolidWorks. Приведенный алгоритм тесно связан с осевой индуктивной скоростью, что позволяет анализировать картину обтекания, наиболее приближенную к реальной.

**Литература.** 1. Гайнутдинов В.Г. О проектировании лопастей воздушного винта повышенной эффективности – Изд-во Казан. гос. тех. университета. – Казань, 2013. 2. Ковалев Е.Д. Аэродинамическое проектирование воздушного винта – Харьков.-№6. – 1999. 3. Ветчинкин В.П. Теория и расчет воздушного гребного винта. / В.П.Ветчинкин, Н.Н. Поляков. – М.: Оборонгиз, 1940. – 520 с. 4. Жуковский Н.Е. Вихревая теория гребного винта. / Н.Е. Жуковский. – М: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1950. – 240 с. 5. Александров В.Л. Воздушные винты / В.Л. Александров. – М.: Оборонгиз, 1951. – 475 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗВЕРНУТОЙ СЕТИ WI-FI ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ

РЕМПЕЛЬ П.В., БОРИСОВ А.П.

В наши дни Wi-Fi покрытие есть почти у любого корпоративного клиента, поэтому инфраструктуру этой беспроводной сети можно использовать для позиционирования. Точность таких локальных систем позиционирования будет зависеть от плотности точек доступа, "привязанных" к конкретным точкам на плане здания, сооружения, территории [1].

Позиционирование объектов в сети Wi-Fi может использоваться для достижения целого ряда целей:

1. Автоматизация учета и размещения объектов;
2. Контроль за имуществом;
3. Контроль за персоналом и клиентами организации;
4. Навигация внутри здания.

**Целью работы** является экспериментальное исследование возможности локального позиционирования в развернутой инфраструктуре Wi-Fi.

Разрабатываемое устройство (метка) ищет известные точки доступа и измеряет мощность принимаемого сигнала, после чего отправляет данные на устройство, где происходит вычисление местоположения с некоторой точностью в заданной системе координат.

Для расчета координат использовался алгоритм Weighted centroid (центр масс), который вычисляет координату агента как линейную комбинацию координат точек доступа с учетом мощности сигналов, в качестве характеристики веса. Этот алгоритм является достаточно простым с вычислительной точки зрения (сложность  $O(N)$ ) [2].

Положение агента определяется по следующим формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_0 = \sum_{i=1}^N \mu_i X_i \\ Y_0 = \sum_{i=1}^N \mu_i Y_i \\ \mu_i = \left( P_i \sum_{j=1}^N \frac{1}{P_j^2} \right)^{-1} \end{array} \right. ,$$

где  $X_0$  и  $Y_0$  – искомые координаты,  $X_i$  и  $Y_i$  – координаты  $i$ -той точки доступа,  $P_i$  – мощность сигнала  $i$ -той точки доступа,  $\mu_i$ -характеристика веса,  $N$  – количество точек.

К преимуществам данного алгоритма можно отнести простоту реализации и необходимость знать только месторасположения точек доступа. К недостаткам можно отнести зависимость точности положения от числа точек доступа, одновременно доступных для метки. Алгоритм можно отнести к базовым, не требующим предварительных измерений.

В качестве метки использовался микроконтроллер Wemos d1 mini – программируемая плата на базе микроконтроллера ESP8266EX с поддержкой Wi-Fi, и доступом к UART, SPI, I2C, GPIO. Так как у данного микроконтроллера имеются GPIO интерфейсы, то возможно подключение к ним датчиков (например, акселерометра) и передачи на удаленный компьютер по сети Wi-Fi [3].

Метка запрограммирована как сканер Wi-Fi сети, который собирает информацию о мощностях сигналов видимых точек доступа и передает данные на устройство.

При тестировании устройства использовались мобильные хот-споты, расположенные по углам помещения размером 11,1м на 5,7м. Для каждой точки доступа указаны соответствующие координаты, относительно которых вычислялось местоположения метки.

Результат позиционирования в комнате с тремя точками представлен на рисунке 1, с четырьмя – на рисунке 2. Сплошной темной линией отображается реальный маршрут перемещения метки по помещению, а светлой пунктирной – вычисленный маршрут метки.

На данных рисунках видно, что при четырех активных точках доступа позиционирование метки точнее, чем при трех. Точки доступа определяют геометрическую фигуру, в пределах которой вычисляется местоположение метки.

**Литература. 1.** Ремпель П.В. Локальная система позиционирования в сетях WiFi // Инновационные технологии в науке нового времени: сбор-

ник статей Международной научно – практической конференции (1 февраля 2017 г., г. Уфа). В 3 ч. Ч.3/ – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – с. 98-100

2. Аверин, И.М. Позиционирование пользователей с использованием инфраструктуры локальных беспроводных сетей / И.М. Аверин, В.Ю. Семенов // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» (ИРЭ РАН, 29 ноября – 3 декабря 2010 г.). – М., 2010. – С. 475–479

3. Антипова Л.А., Борисов А.П. Повышение качества проведения лабораторных работ для студентов специальности ИБ // Гарантии качества профессионального образования: материалы международной научно – практической конференции. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – с. 94-97.

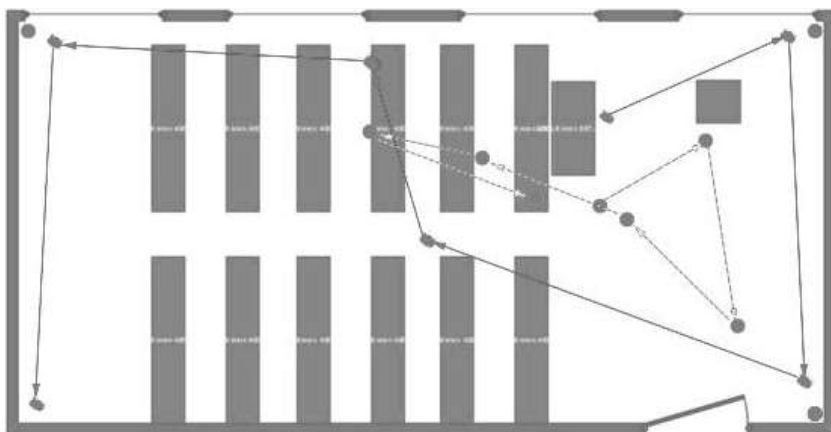


Рис. 1. Помещение с тремя точками доступа

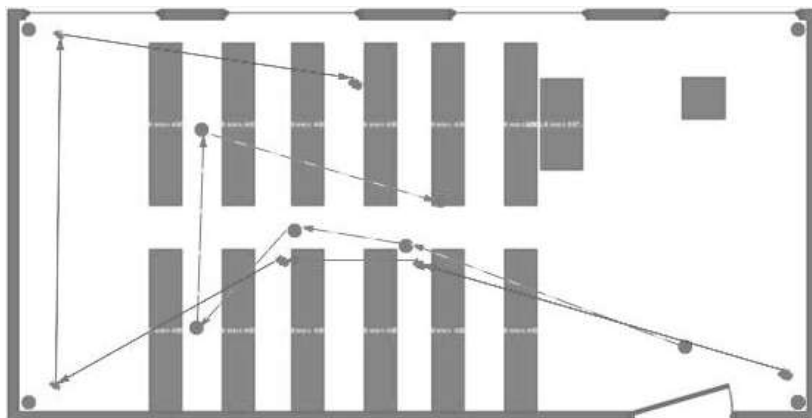


Рис. 2. Помещение с четырьмя точками доступа

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, 401а Пк, Факультет информационных технологий, кандидату технических наук, доценту, Борисову А.П., тел. (385-2) 29-07-18. E-mail: boralp@mail.ru*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА ЦВЕТОРАЗЛИЧЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦВЕТА**

**ПОЛЯКОВ Р.А., ЛУКЪЯНОВ В.Г.**

Возникновение цветовых дефектов (разнооттеночности) при крашении текстильных изделий обусловлено несовершенством и нестабильностью технологического процесса. Если учесть, что на появление цветовых различий в процессе крашения оказывает значительное число факторов, которые практически невозможно стабилизировать и устранить в ходе технологического процесса, то на современном этапе предпочтительным является форсирование решения вопроса по повышению качества окрашенных изделий путем введения тщательного контроля всего окрашиваемого материала.

Организация 100% контроля с разбраковкой окрашенных изделий по оттенкам позволит комплектовать отдельные партии идентичного окрашиваемого материала данным красителем и тем самым обеспечить качество готовых изделий [1,2].

В связи с этим было исследовано разработанное ранее устройство для идентификации и селективного патрона прядильных и тростильных машин по цветам [3].

В целях возможного использования данного устройства для идентификации окрашенной текстильной продукции по величине малых цветовых различий (разнооттеночности) были проведены экспериментальные исследования по определению порога цветоразличения.

Известно, что для получения количественных данных, позволяющих однозначно судить о цветовом различии, необходимо, чтобы это различие выражалось одним показателем, суммирующим яркостный контраст с контрастом по цветности. Таким показателем являются малые цветовые различия (разнооттеночность), которая обозначается через  $\Delta E$  в системе ВНИСИ [4].

Значения  $\Delta E$  сами по себе не позволяют сделать практических выводов. Практическая оценка результатов измерения осуществляется на основе учета пороговых значений цветоразличения, которыми называют минимальные значения величины  $\Delta E$ , различимые средним наблюдателем. За наиболее вероятное значение порога принимают значение, для которого доля вероятных оценок составляет 50% [4]. Так как допуски на величину  $\Delta E$  находятся в пределах двух – трех порогов, то цветоразличи-



тельная способность устройства идентификации для производственных целей может быть ниже порога цветоразличения глаза.

Таким образом, для определения порога цветоразличения устройства необходимо:

- для выбранных образцов найти визуальный порог цветоразличения;
- произвести оценку визуального порога с помощью существующих инструментальных приборов в единицах  $\Delta E$ ;
- с помощью методов математической статистики определить согласованность визуальных и приборных оценок;
- по выбранным образцам определить порог цветоразличения устройства.

Для проведения эксперимента были отобраны образцы ткани цвета «хаки» одинаковые по фактуре, форме и размеру, но отличающиеся по оттенкам. При определении визуального порога цветоразличения использовалась методика, описанная в работе [1]. При этом образцы в пары подбирались в области значения  $\Delta E$  от 0 до 2 ед. МКО таким образом, чтобы различие между образцами в паре возрастало на 0.1 ед.  $\Delta E$ . Для повышения надежности результатов каждый исследуемый уровень был представлен тремя парами образцов.

Визуальные парные сравнения окрашенных образцов проводились в стандартных условиях колористами. Каждый наблюдатель повторял оценки три раза в разные дни.

Колористы оценивали отдельно каждую исследуемую пару образцов, лежащих вплотную друг к другу на сером фоне.

Визуальная оценка цветового контраста каждой пары образцов предполагала два вида оценки: образцы в паре равны и не равны. Поэтому вся область значений  $\Delta E$  была разделена на две зоны – зону равенства образцов и зону их неравенства. Зона равенства включает значение  $\Delta E$  образцов, находящиеся в пределах ошибки измерения цветового различия. Все остальные значения  $\Delta E$  находятся в зоне неравенства. Если одинаковые по цвету парные образцы относились к зоне равенства, а неодинаковые – к зоне неравенства, то визуальная оценка признавалась верной.

Предлагая наблюдателям пары образцов с последовательно возрастающим значением  $\Delta E$  между ними и рассчитывая соответствующее количество верных оценок, определяли значение  $\Delta E$ , для которого доля верных визуальных оценок составляет примерно 50%. Количество пар образцов и соответствующие им значения цветового различия естественно ограничены относительно небольшими числами. Поэтому лишь в отдельных случаях одно из исследуемых значений  $\Delta E$  в точности может соответствовать 50%-ному уровню верных оценок. Поэтому для определения порога цветоразличения был использован метод сопряженных при-

знаков, который позволил ответить на вопрос, находится ли исследуемое значение в зоне неуверенных визуальных оценок, или в зоне ненадежных оценок, когда наблюдается явная зависимость между величиной  $\Delta E$  и количеством верных оценок. Наличие связи между величиной цветового различия и долей верных оценок устанавливалось с помощью критерия Пирсона.

Из экспериментальных данных следует, что визуальный порог цветоразличения для образцов ткани цвета «хаки» равен 0.9 ед.  $\Delta E$ .

Для определения степени согласованности между наблюдателями (колористами) были отобраны на ЭКЦ-1 образцы таким образом, что величина  $\Delta E$  относительно выбранного эталона последовательно возрастала на 0.1 ед.  $\Delta E$ , т.е. образцы подбирались в области значений  $\Delta E$  от 0 до 2. Колористам было предложено расположить эти образцы в ряд по степени возрастания цветового отличия от эталона. В оценках участвовали шесть колористов, каждый производил оценку четыре раза. При обработке результатов порядковые номера, присвоенные при всех визуальных оценках отдельному образцу складывались, и сумма делилась на число повторений оценки. Полученные таким образом средние значения характеризуют среднюю визуальную оценку каждого образца. На основании этой оценки образцы располагались в ряд по степени возрастания отличия от эталона, т.е. были ранжированы, причем каждому образцу приписывались «порядки» или «ранги» в виде натуральных чисел. При этом для определения коэффициента согласованности между наблюдателями использовались методы математической статистики [1], а для оценки его значения критерий Пирсона.

Аналогичным образом была найдена согласованность между визуальными и инструментальными оценками. Поэтому данные образцы были использованы в качестве эталонных для определения порога цветоразличения устройства. При этом был исследован один из его каналов, который настраивался на эталон, в качестве последнего был выбран образец с  $\Delta E = 0$ . Поочередным пропуском через устройство всех остальных образцов были зафиксированы с помощью цифрового вольтметра Ф4202 (класс точности 0.5) значения сигналов рассогласования относительно выбранного эталона. По данным эксперимента построен график зависимости величины сигнала рассогласования  $\Delta U$  от величины  $\Delta E$  (рис. 1.).

Учитывая чувствительность устройства и данные графика устанавливаем, что порог цветоразличения устройства для ткани цвета «хаки» равен 1 ед.  $\Delta E$ , т.е. близок к порогу цветоразличения глаза. В области значений  $\Delta E$  от 1 до 2 устройство может идентифицировать окрашенные образцы через 0.3 ед.  $\Delta E$ , что вполне удовлетворяет производственным требованиям.

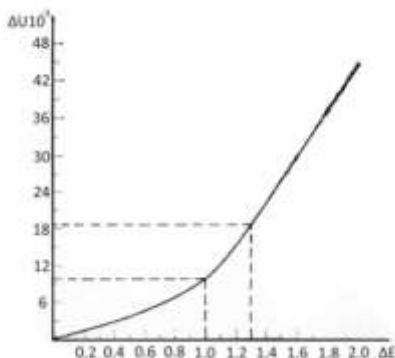


Рис. 1. Зависимость сигнала рассогласования от величины малых цветовых различий  $\Delta E$

**Литература. 1.** Дмитриев Л.Н. Контроль цвета материалов в красильном производстве / Дмитриев Л.Н., Сырковская Л.Е. // Швейная промышленность. 1973. №2. С. 32-34. **2.** Козак Р.П. Исследование явления разнооттеночности окрашенных нитей. – Л.: Легкая индустрия. 1973.-182с. **3.** Лукьянов В.Г. Автоматический выбор патронов прядильных и тростильных машин по цветам / Лукьянов В.Г., Козубенко В.А. // Механизация автоматизация. 1980. №10 С.22-24. **4.** Шестернина Г.П. Определение порога цветоразличения как меры цветового различия при установлении промышленных допусков по разнооттеночности / Шестернина Г.П., Алявдин Н.А., Беленький Л.И. // Технология текстильной промышленности. №3.1973. с.13-15.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, ул. пр. Ленина, 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, кандидату технических наук, доценту, Лукьянову В.Г., тел. 8-913-091-23-35.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ВИБРАЦИИ

ВИННИК О.Ю., ПРОНИН С.П.

Одной из актуальных задач современной измерительной техники является определение параметров колебательного процесса. Оптические методы в решении этой задачи занимают ведущую позицию. Для измерения, например, размаха вибраций используют тест-объекты в виде различных парных геометрических фигур: два круга, две параллельные линии, две пересекающиеся линии и т.д. [1,2].

При определенных соотношениях геометрических размеров этих фигур и размаха вибраций визуально наблюдают устойчивое изображение третьей фигуры. Важно при этом, чтобы частота колебаний превышала 8 Гц. По указанному признаку определяют размах вибраций. В монографии [3] приведены изображения колеблющихся прямоугольных штрихов с различными пространственными частотами, получаемых на экране персонального компьютера с помощью видеокамеры. В изображении штрихов визуально наблюдают существенное изменение контраста – положительный, отрицательный и нулевой. Однако в монографии не представлены исследования изменений структуры яркости в штрихах с нулевым контрастом. Как показывают исследования, на изменение структуры яркости в штрихах влияет форма вибрации, т.е. количество гармоник, присутствующих в вибрации парных штрихов.

**Цель работы** – разработать алгоритм и программу для определения формы вибрации.

В результате проведенных исследований, были получены изображения парных штрихов с нулевым контрастом. Запись изображений осуществлялась на протяжении пяти секунд. С помощью программы Adobe Photoshop CS6 общее изображение с нулевым контрастом разбили на пять равных частей. В итоге получили изображение, состоящее из пяти частей парных штрихов при гармонической вибрации (Рис. 1).

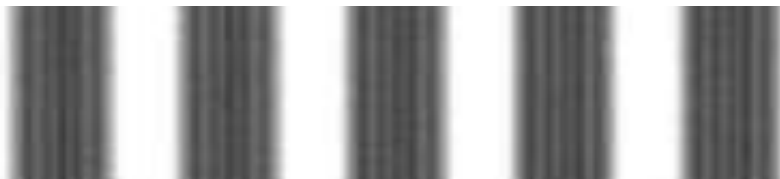


Рис. 1. Изображение парных штрихов с нулевым контрастом при гармонической вибрации в разные моменты времени

Аналогичная процедура была выполнена для изображений парных штрихов периодической вибрации, которая представляет сумму двух гармоник с кратными частотами. В итоге получили изображение, представленное на рис.2.



Рис. 2. Изображение парных штрихов с нулевым контрастом при вибрации, состоящей из суммы двух гармоник с кратными частотами в разные моменты времени

Изменение контраста в полученных изображениях анализировали с помощью программы Mathcad 7. В случае гармонической вибрации изменение яркости в парных штрихах в разные моменты времени представлено на рис. 3.

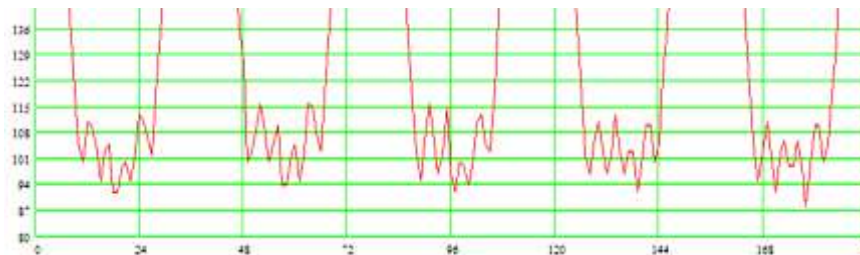


Рис. 3. Изменение яркости в штрихах с нулевым контрастом при гармонической вибрации в разные моменты времени.

В случае вибрации, представляющей сумму двух гармоник с кратными частотами, изменение яркости в парных штрихах представлены на рис. 4.

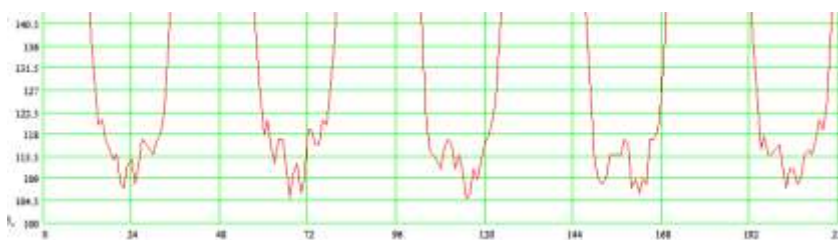


Рис. 4. Изменение яркости в штрихах при вибрации с кратными частотами

На рис.3 визуально видна схожесть изменения яркостей в парных штрихах в разные моменты времени. В случае с периодической вибрацией, которая представляет сумму двух гармоник с кратными частотами, видны различия изменения яркости в разные моменты времени (рис.4). Для подтверждения выводов, полученных на основе визуальных наблюдений изменения яркостей, полученные изображения анализировали методом наложения с помощью программы Adobe Photoshop CS6.

В случае вибрации в виде одной гармонике при наложении пяти фрагментов друг на друга получается график, представленный на рис. 5,а. Как следует из рисунка, изменение яркости в штрихах с нулевым контрастом имеет одинаковую структуру во все моменты времени.

На рис.5,б представлен результат наложения графиков изменения яркости в парных штрихах с нулевым контрастом при вибрации, пред-

ставляющей сумму гармоник с кратными частотами в разные моменты времени.

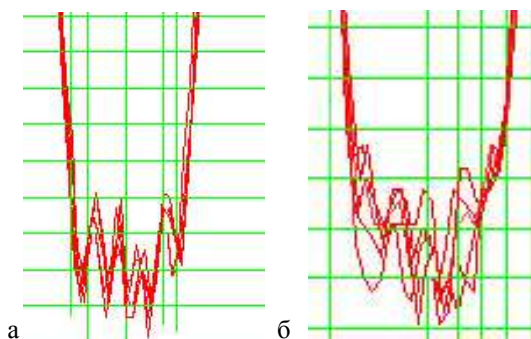


Рис. 5. Результат наложения графиков яркости штрихов с нулевым контрастом: а – при гармонической вибрации в разные моменты времени; б – при вибрации, представляющей сумму двух гармоник в разные моменты времени

Анализ обобщенного графика дает результат, существенно отличный от предыдущего. Проведенный анализ обобщенных яркостей подтверждает гипотезу об отличительных особенностях изменения яркости в изображении парных штрихов с нулевым контрастом при условии различной формы вибрации. Следовательно, чтобы определить форму вибрации, достаточно проанализировать характер различий яркости в разные моменты времени.

На основе выполненного анализа предложен общий алгоритм для определения формы вибрации: выявить пару штрихов, в которой наблюдается нулевой контраст; загрузить изображение в программу; выполнить обработку изображения по увеличению его контрастности; выполнить анализ изменения яркостей в разные промежутки времени; получить сообщение о форме вибрации.

Разработанная программа предназначена для определения формы вибрации по изображению вибрирующего тест-объекта, то есть для оценки наличия одной или нескольких гармоник.

Модуль-анализатор производит анализ контрольных срезов изображения, строит графики яркостей и выводит результат анализа (гармоническое колебание или нет). На рис.6 представлен результат анализа изображения. В верхнем поле формы выводятся разности между максимальной и минимальной яркостями пикселей срезов. В случае если разница превышает заданную величину, производится прибавление счетчика. По мере обработки счетчик увеличивается и, если он становится больше допустимой величины, выводится результат анализа, что на изображении

вибрация не гармоническая. Если значение не превышено, то выносится решение о гармонической вибрации.



Рис. 6. Форма, отражающая результаты анализа яркостей в изображении парных штрихов

Таким образом, в результате анализа нулевого контраста в парных штрихах установлено, что от формы вибрации существенно зависит структура изменения яркости в их изображении. На основе этого экспериментального факта решена обратная задача – по структуре изменения яркости в штрихах с нулевым контрастом разработан алгоритм и программа для определения формы вибрации. Программное обеспечение показало стабильные результаты. Программа безошибочно определяет форму вибрации. Анализ выполняется в короткое время, с высокой производительностью.

**Литература. 1.** Пронин С. П. Теоретические и экспериментальные исследования процесса пространственных колебаний в частотной и пространственной областях / С. П. Пронин, Д. Ю. Наталенко // Ползуновский альманах №3, 2007. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – С. 77-79. **2.** Пронин С. П. Теоретические и визуальные экспериментальные исследования изменения контраста в изображении колеблющихся парных штрихов / С. П. Пронин и др. // Ползуновский альманах №2, 2009. – Барнаул: АлтГТУ, 2009. – С. 108-112. **3.** Пронин С.П. Оценка качества информационно-измерительной оптико-электронной системы: Монография / С.П. Пронин; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001. – 125 с.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет, доктору технических наук, профессору, Пронину С.П., тел. 8-913-085-96-65. E-mail: [sppronin@mail.ru](mailto:sppronin@mail.ru).

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ СТАНДАРТА LORA В СЛОЖНЫХ ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

ЕРЕМИН В.Б., БОРИСОВ А.П.

Направление интернет вещей в последнее десятилетие является одной из перспективных областей развития коммуникационных и информационных технологий. Это связано с возрастающими потребностями людей в информации и с растущей сложностью современных информационных систем.

Интернет вещей – это сеть физических устройств, транспортных средств, сооружений и других объектов со встроенными в них электроникой, программным обеспечением, датчиками и подключением к интернету. Все это позволяет собирать и обмениваться данными, что, в свою очередь, исключает из части операций и действий человеческое участие в общественных и экономических процессах.

Таким образом, это концепция сети вычислительных устройств, оснащённых встроенными технологиями для обмена данными между собой или с внешней средой, организация таких сетей представляется как явление, способное преобразовать общественные и экономические процессы без человеческого вмешательства.

Все эти технологии позволяют качественно повысить уровень жизни, они различаются способами передачи данных и взаимодействия (ZigBee, LoWPAN, WirelessHart, LPWAN), способами питания устройств (солнечные батареи, ветряки и т.д.).

LoRa™ (от англ. Long Range) – это технология и одноименный метод модуляции. Метод модуляции LoRa запатентован компанией Semtech, основан на технике расширения спектра и вариации линейной частотной модуляции, при которой данные кодируются широкополосными импульсами с частотой, увеличивающейся или уменьшающейся на некотором временном интервале. Такое решение, в отличие от технологии прямого расширения спектра, делает приёмник устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения и упрощает требования к тактовому генератору, что позволяет использовать недорогие кварцевые резонаторы. LoRa использует прямую коррекцию ошибок, работает в субгигагерцовом диапазоне частот.

Беспроводная система Lora использует нелицензируемые частоты, которые доступны по всему миру. Наиболее широко используемые частоты 915 МГц, 868 МГц, 433 МГц. Малое энергопотребление и высокая устойчивость связи на большом расстоянии обеспечиваются за счет высокой чувствительности -148 дБм [1].

**Целью работы** является экспериментальное исследование распространения сигнала LoRa в сложных городских условиях.



Для исследования распространения сигнала рассчитаем дальность передачи информации. Формула для расчета дальности передачи берется из инженерной формулы расчета потерь в свободном пространстве:

$$FSL = X \cdot \log\left(\frac{4\pi df}{c}\right),$$

где  $FSL$  (Free Space Loss) – потери в свободном пространстве (дБ),  $X$  – коэффициент ослабления (равный 20 для открытого пространства),  $d$  – расстояние от точки передачи (м),  $f$  – частота сигнала (МГц),  $c$  – скорость света ( $3 \times 10^8$ ).

Порядок числителя равен  $10^3 \times 10^6$ , порядок знаменателя –  $10^8$ .

$$FSL = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi df \cdot 10^3 \cdot 10^6}{c \cdot 10^8}\right) = 20 \log\left(\frac{4\pi df \cdot 10}{c}\right).$$

Воспользуемся правилами логарифмирования и упростим формулу, подставив значения постоянных:

$$\begin{aligned} FSL &= 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10}{3}\right) + 20 \log f \cdot d \\ &= 20(0,622 + 1) + 20 \log f \cdot d \approx 33 + 20(\log d + \log f). \end{aligned}$$

$FSL$  определяется суммарным усилением системы. Суммарное усиление системы считается следующим образом:

$$Y = P_t + G_t + G_r - P_{min} - L_t - L_r,$$

где  $Y$  – суммарное усиление системы (дБ),  $P_t$  – мощность передатчика (дБмВт),  $G_t$  – коэффициент усиления передающей антенны (дБи),  $G_r$  – коэффициент усиления приемной антенны (дБи),  $P_{min}$  – чувствительность приемника на данной скорости (дБмВт),  $L_t$  – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах передающего тракта (дБ),  $L_r$  – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах приемного тракта (дБ).

$FSL$  вычисляется по формуле:

$$FSL = Y - SOM,$$

где  $SOM$  (System Operating Margin) – запас в энергетике радиосвязи (дБ).

Параметр  $SOM$  обычно берется равным 10 дБ. Считается, что 10 - децибелный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

В итоге получаем формулу дальности связи:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right)},$$

где  $D$  – дальность связи в метрах [2].

Для исследования был выбран модуль передачи данных стандарта LoRa на базе микросхемы RFM95W. Заявленная производителем мощность передатчика составляет 20 дБм при 100 мВт, чувствительность составляет -148дБм.

Дальность передачи данных рассчитывалась для двух случаев: со стандартной антенной без коэффициента усиления и с внешней антенной

с коэффициентом усиления 3 дБи, установленных на приемниках. Передатчик имеет внешнюю антенну с коэффициентом усиления 3 дБи.

По умолчанию мощность передатчика выставлена на 50%. Заявленная производителем дальность передачи данных в городских условиях составляет 1-2 км.

При расчете затухания сигнала получается, что при стандартной антенне FSL = 151 дБ, а при внешней антенне – 154 дБ.

Тогда дальность передачи данных составит: при стандартной антенне – 915 м, при внешней антенне – примерно 1,3 км.

Для подтверждения расчетных данных была разработана принципиальная схема лабораторного комплекса (рисунок 1) для реализации передачи данных в стандарте LoRa на базе Arduino Uno и LoRa Shield, основанной на базе микросхемы RFM95W и программного обеспечения.



Рис. 1. Принципиальная схема лабораторного комплекса

Результаты проведенного эксперимента показаны на рисунке 2.

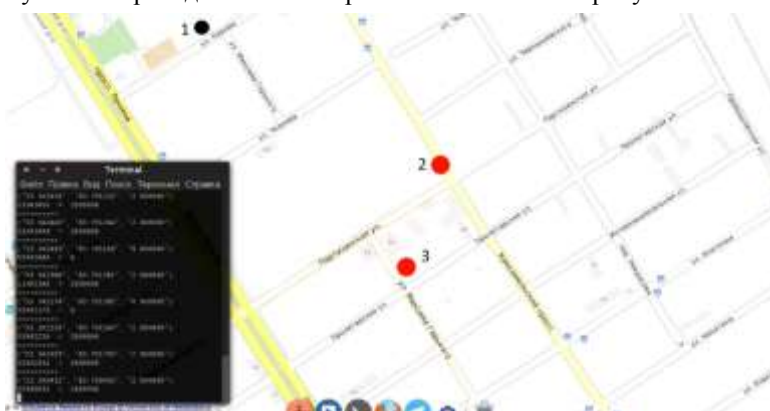


Рис. 2. Результаты проведенного эксперимента

1 – Передатчик, 2 – Приемник без антенны, 3 – Приемник с антенной

Передатчик находился на уровне 4 этажа. При дальнейшем увеличении дальности происходит нестабильная передача данных, вплоть до полной потери сигнала.

Пройденное расстояние представлено на рисунке 3.

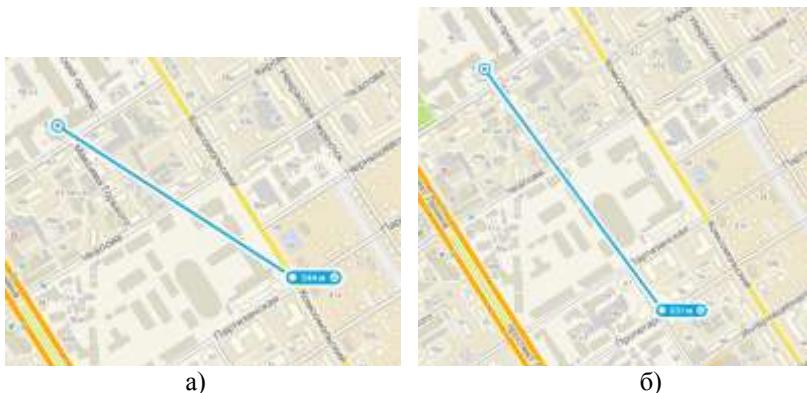


Рис. 3. Расстояние, преодоленное приемниками

а) расстояние, пройденное приемником без антенны, б) расстояние, пройденное приемником с антенной

На данных рисунках показано, что дальность передачи без внешней антенны составляет примерно 550 м, с внешней антенной – 650 м.

Это объясняется тем, что параметр SOM не учитывает помехи, возникающие от устройств, работающих на частоте 868 МГц, например, автомобильных сигнализаций и в полной мере не учитывает сложность и частоту городской застройки.

Поэтому при использовании внешней антенны возможно достижение заявленных производителем параметров дальности связи.

**Литература. 1.** Еремин В.Б., Борисов А.П. Технология LORA в концепции интернет вещей // Современные технологии в мировом научном пространстве: сборник статей Международной научно–практической конференции (20 ноября 2016 г., г. Казань). В 4 ч. Ч.2 / – Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – с. 100-102. **2.** Сравнение дальности действия радиоканальных систем диапазонов 433 и 868 МГц, 2,4 ГГц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tinko.ru/article-45> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.04.2017).

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, 401а Пк, факультет информационных технологий, кандидату технических наук, доценту, Борисову А.П., тел. (385-2) 29-07-18. E-mail:boralp@mail.ru.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ В НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

ГОПАНКОВ Д.Н., КОНДРАШКИН Г.Е., ПРОНИН С.П.

С 80-ых годов XX века бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) стали повсеместно использоваться в различных сферах деятельности, таких как космическая, военная, авиационная и др. Основными положительными свойствами БИНС являются их высокая точность и безотказность работы при различных условиях окружающей среды, что позволяет использовать данные системы в любой точке Земли. Для обеспечения высокой точности работы системы необходимо достигнуть идеальной работоспособности каждого элемента БИНСа и обеспечить их корректное взаимодействие [1,3].

На сегодняшний день оценкой изменения скорости вращения ротора в процессе испытаний никто не занимается. Если по завершении испытания на графике изменения скорости не наблюдается останов, то считают, что прибор исправен. Однако в ходе работы могут наблюдаться отклонения от нормы, которых недостаточно для останова, но при дальнейшей эксплуатации и износе прибора может произойти выход БИНС из строя.

**Целью** работы является исследование качества привода вращения в навигационной системе по критерию изменения скорости вращения ротора.

Объектом исследования является бесплатформенная инерциальная навигационная система, предметом исследования – информационные сигналы об изменении скорости вращения ротора в процессе испытания.

На рис. 1 представлен график зависимости изменения скорости вращения ротора (горизонтальная линия) и температуры (нелинейная функция) внутри термокамеры в течение 24 часов. По оси абсцисс время отложено в секундах.

На графике видно, что на 82453 секунде происходит резкое изменение графика скорости, что характеризует начало останова, который длился около полутора часов. При изменении масштаба графика (рис.2) отчетливо видно как возрастают флуктуации записываемого сигнала перед остановом. Для анализа флуктуаций сигнала было выделено 5 временных интервалов.

Первый интервал ( $\sigma_1$ ), длительность которого составляет приблизительно 6 часов 15 минут, соответствует нормальному протеканию процесса с некоторой небольшой шумовой составляющей, присущей всем приборам. Разброс значений относительно средней скорости минимален. Вероятность останова на данном интервале крайне мала.

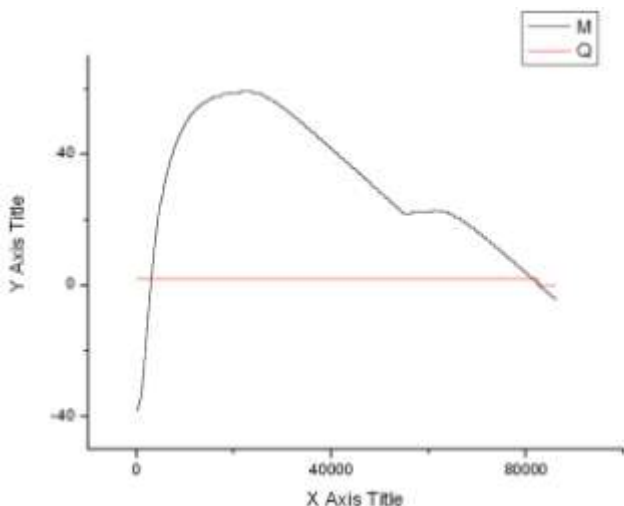


Рис. 1. Графики изменения температуры (нелинейная функция) в термокамере и скорости вращения ротора (горизонтальная линия) в течение 24 часов

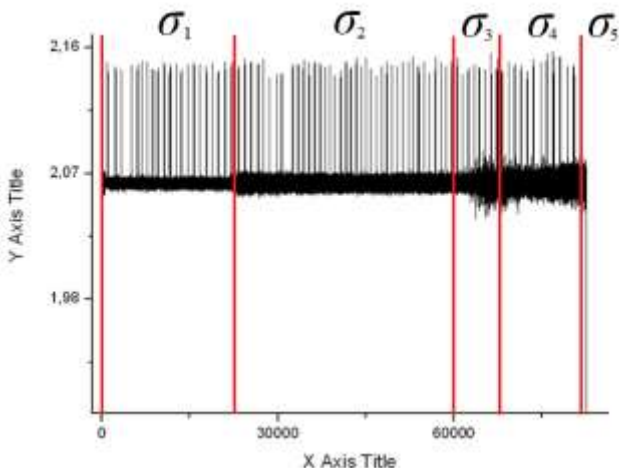


Рис. 2. График изменения скорости ротора в процессе испытаний

В определенный момент наблюдается резкое увеличение степени рассеивания результатов относительно среднего значения ( $\sigma_2$ ). На протяжении следующих десяти с половиной часов наблюдается идентичный, постоянный во времени график изменения скорости ротора ( $\sigma_3$ ). По данному интервалу можно говорить о возможности дальнейшего останова, од-

нако его стабильность не дает утверждать это с полной уверенностью. По окончании отведенного времени начинается хаотичное изменение скорости вращения ротора и её увеличение относительно предыдущего участка ( $\sigma_4$ ).

Моменту останова предшествует нестабильный и непредсказуемый график изменения скорости. Визуально степень рассеивания результатов продолжает расти. В результате чего с большей уверенностью можно утверждать, что через некоторый промежуток времени произойдет останов.

Завершающим этапом всего испытательного процесса является останов. Скорость вращения ротора падает до нуля, и момент останова длится некоторое время ( $\sigma_5$ ).

После проведенного испытания специалистами было сделано заключение, что причиной увеличения рассеивания значений являются механические трения подвижных частей привода вращения, а именно ротора о статор.

Для анализа протекающего процесса было принято решение об его оценке по трем параметрам изменения скорости: среднему значению, среднеквадратическому отклонению и доверительному интервалу.

Среднее значение выборки рассчитывали по формуле:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i, \quad (1)$$

где  $n$  – количество значений в выборке,  $v_i$  – мгновенная скорость в фиксируемое время.

Среднеквадратическое отклонение рассчитывали по формуле:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{v} - v_i)^2}. \quad (2)$$

Доверительный интервал рассчитывали по формуле:

$$\Delta = t(P, k) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где  $t(P, k)$  – критерий Стьюдента при доверительной вероятности  $P = 0,95$ , или уровне значимости  $q = 1 - P$ ,  $k$  – число степеней свободы, равное:  $k = n - 1$ .

Для каждого выделенного интервала были вычислены соответствующие параметры по формулам (1) – (3). В результате расчетов получена итоговая таблица.

Таблица

Участок	Скорость $\bar{v}$ (°/с)	$\sigma_v$	$\pm \Delta v$
$\sigma_1$	2,06296	0,00240	$\pm 0,00055$
$\sigma_2$	2,06413	0,00285	$\pm 0,00065$
$\sigma_3$	2,06282	0,00438	$\pm 0,00100$
$\sigma_4$	2,06256	0,00640	$\pm 0,00209$
$\sigma_5$	2,06207	0,00573	$\pm 0,00190$

**Выводы.** Из таблицы видно, что средняя скорость в процессе испытаний практически остается неизменной и не может служить критерием оценки качества монтажа. Среднеквадратичное отклонение возрастает в 2,7 раза, а значение доверительного интервала – в 3,8 раза. Таким образом, наиболее показательным параметром качества монтажа может служить доверительный интервал. Однако непосредственно перед остановом ротора происходит резкое уменьшение доверительного интервала до нуля.

**Литература.** 1. Мелешко В.В., Нестеренко О.И. М-47 Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД – Сервис, 2011. – 171с. 2. Оценивание параметров случайного процесса. Авторы: Артюхин И.В., Болховская О.В., Клюев А.В., Меркурьев О.И. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 25 с. 3. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В.В. Матвеев, В.Я. Распопов / Под ред. д.т.н. В.Я. Распопова. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет, доктору технических наук, профессору, Пронину С.П., тел. 8-913-085-96-65. E-mail: spronin@mail.ru*

## АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦВЕТОВ ПО ИХ СПЕКТРАМ ОТРАЖЕНИЯ

ПОЛЯКОВ Р.А, ЛУКЪЯНОВ В.Г

Анализ методов и средств измерения и распознавания цвета объекта позволил установить, что при реализации аппаратуры контроля и идентификации изделий по цветовым характеристикам необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

- идентифицировать цвета по их спектрам отражения;
- использовать в аппаратуре компараторный метод измерения;
- в качестве материального эталона использовать в аппаратуре физическую модель цвета.

В связи с этим предложенный алгоритм включает:

- аналитическую интерпретацию спектров отражения;
- теоретические вопросы, связанные с построением модели цвета;
- техническую реализацию модели.

При определении цвета всегда следует иметь в виду наличие трех основных компонентов: окрашенного образца, источника света и фотоприемника. Так как все физические приемники являются избирательными, то при оценке спектрального состава важное значение имеет их реакция,

ибо она является функцией не только длины волны, но и потока попадающего на него излучения. Учитывая это, получено аналитическое выражение для излучения сложного спектрального состава, которое в нормированном виде имеет вид:

$$\phi(\lambda) = \varphi_{\lambda m} \sum_{\lambda_i}^{\lambda_i} \frac{1}{\gamma_{\lambda_i}}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{\lambda m}$  – плотность энергии излучения длины волны  $\lambda_m$ ;  
 $\lambda_m$  – длина волны излучения, способного вызвать реакцию приемника при наименьшем потоке;

$\gamma_{\lambda_i}$  – коэффициенты, характеризующие относительное распределение энергии в спектре.

Установлено, что коэффициент  $\varphi_{\lambda m}$  косвенно отражает количественную характеристику цвета /яркость/, а коэффициенты  $\gamma_{\lambda_i}$  – его качественную сторону /цветность/.

Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что при идентификации изделий по цветам физическая модель должна отражать только качественную характеристику цвета, а по оттенкам одного цвета – дополнительно и количественную характеристику [1,2].

Исходя из этого упрощенная модель цвета может быть охарактеризована четырехполосниками, число которых определяется количеством выделенных областей (длин волн) из спектров отражения идентифицируемых цветов. При этом коэффициенты передачи четырехполосников определяются из выражения:

$$K_{\lambda_i} = \gamma_{\lambda_i} = \frac{\varphi_{\lambda m}}{\varphi_{\lambda_i}}, \quad (2)$$

где  $\varphi_{\lambda_i}$  – интегральная интенсивность отражения в  $i$ -ой области спектра.

Ввиду того, что в одной из областей интегральная интенсивность будет равна  $\varphi_{\lambda m}$ , то один из коэффициентов в выражении 2 будет равен единице, а все остальные меньше единицы.

Структурная схема модели цвета и оттенка представлена на рис.1. При идентификации изделий по цвету используются четырехполосники с коэффициентами передачи  $\gamma_c, \gamma_z, \gamma_k, \gamma_n$ , а оттенкам и  $\gamma_u$ .

Как следует из рисунка сигналы цветности  $\varphi_c, \varphi_z, \varphi_k$  и  $\varphi_n$ , соответствующие интегральной интенсивности отражения соответственно в синей, зеленой, красной и в видимом диапазоне длин волн, подаются на модели идентифицируемых цветов. При этом цветовое различие, вызванное отклонением либо яркости, либо цветности идентифицируемого изделия от эталона, заданного моделью, создает на выходе модели сигнал рассогласования, величина которого при идентификации промышленных изделий по цветовому тону определяется из выражения



$$\Delta S = \Delta\varphi_{max} - \Delta\varphi_{min}$$

а по оттенкам – в зависимости от направления изменения цвета величинами:

$$\Delta S = \Delta\varphi_{max} - \Delta\varphi_{\lambda m}; \text{ или } \Delta S = \Delta\varphi_{\lambda m} - \Delta\varphi_{min}.$$

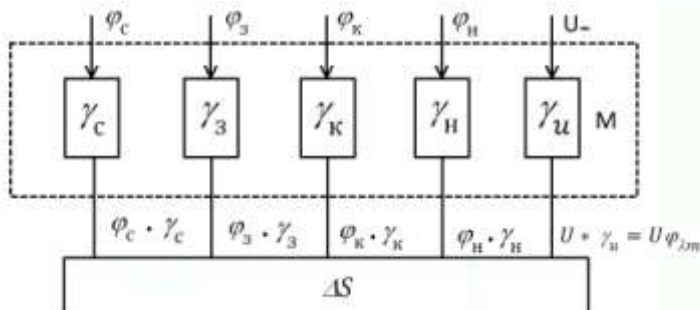


Рис. 1. Структурная схема модели цвета и оттенка

Исследование взаимодействия моделей со спектрами отражения идентифицируемых цветов подтвердили теоретические выводы о возможности идентификации промышленных изделий по цветовым характеристикам, что отражено в таблицах 1 и 2, где  $K_i$  – коэффициент передачи четырехполосников,  $\rho_i K_i$  – реакция модели,  $\Delta S$  – сигнал рассогласования на выходе модели.

Таблица 1. Взаимодействие моделей со спектрами от отражения идентифицируемых цветов

Цвет	$\rho * n = \sum_{n_1=\lambda_{i1}}^{n_2=\lambda_{i2}} \rho(\lambda) \Delta\lambda$	Модели цветов								
		Синего			Желтого			Красного		
		$K_i$	$\rho_i K_i$	$\Delta S$	$K_i$	$\rho_i K_i$	$\Delta S$	$K_i$	$\rho_i K_i$	$\Delta S$
Синий	$\rho_c = 0.11$	7/11	0.07	0	1	0.11	0.1	9/21	0.04	0.15
	$\rho_z = 0.16$	7/16	0.07		9/28	0.05		1	0.16	
	$\rho_k = 0.07$	1	0.07		9/60	0.1		9/65	0.01	
Желтый	$\rho_c = 0.09$	7/11	0.05	0.55	1	0.09	0	9/21	0.03	0.25
	$\rho_z = 0.28$	7/16	0.12		9/28	0.09		1	0.28	
	$\rho_k = 0.6$	1	0.6		9/60	0.09		9/65	0.08	

Таблица 2. Взаимодействие моделей со спектрами от отражения различных оттенков

№ спектральных хар-к	$\frac{1}{n} \sum_{\lambda_{i1}=\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} \rho(\lambda) \Delta\lambda$	Модели цветов								
		Синего			Желтого			Красного		
		$K_i$	$\rho_i K_i$	$\Delta S$	$K_i$	$\rho_i K_i$	$\Delta S$	$K_i$	$\rho_i K_i$	$\Delta S$
1	$\rho_c = 0.11$	1	0.17	0	1	0.17	0.05	1	0.04	0.015
	$\rho_3 = 0.16$	17/25	0.17		175/263	0.17		185/272	0.17	
	$\rho_k = 0.07$	17/31	0.17		175/219	0.17		185/319	0.17	
	$\varphi_{\lambda m_i}$		0,17		-	0,175			0.185	
2	$\rho_c = 0.09$	1	0.175	0.05	1	0.175	0	1	0.175	0.1
	$\rho_3 = 0.28$	17/25	0.175		175/263	0.175		185/272	0.175	
	$\rho_k = 0.6$	17/31	0.175		175/319	0.175		185/319	0.175	
	$\varphi_{\lambda m_i}$		0.17			0.175			0.185	

Из таблицы 1 видно, что при действии спектра отражения синего цвета на свою модель сигнал рассогласования на её выходе равен нулю. В тоже время этот спектр отражения в моделях других цветов создает сигнал рассогласования, отличный от нуля. В таблице 2 показана возможность идентификации окрашенных изделий по оттенкам.

Как следует из таблицы 2, модель оттенка учитывает не только коэффициенты передачи  $K_i$ , но и величину  $\varphi_{\lambda m}$ , т.е. яркость цвета.

Приведенная на рис.2 электрическая схема модели цвета позволяет идентифицировать изделия по цветовому тону и величине малых цветовых различий. В первом случае используются четырехполюсники, коэффициенты передачи которых для сигналов цветности  $U_c, U_k, U_3, U_n$  определяются соотношением сопротивлений переменных резисторов  $R_1-R_4$  [1].

При идентификации изделий по цветовым оттенкам дополнительно вводится резистор  $R_5$ , на который подается постоянное напряжение  $U_0$  от стабилизированного источника питания. При этом потенциал средней точки резистора  $R_5$  устанавливается равным по величине минимальному сигналу цветности. В этом случае модель будет реагировать на изменение яркости и цветности контролируемого образца [2].

Практически коэффициенты передачи четырехполюсников, составляющих модель, устанавливаются посредством выравнивания потенциалов средних точек переменных резисторов по наименьшему из них.

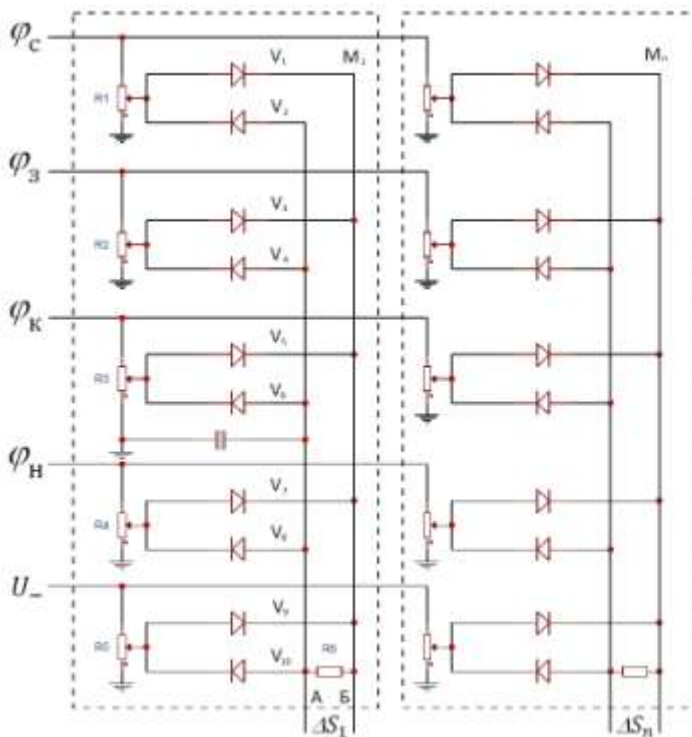


Рис. 2. Электрическая схема моделей цвета

Если модель настроена на определенный цвет или оттенок, то на ее выходе, т.е. между шинами А и Б, сигнал рассогласования будет равен нулю.

При поступлении сигналов цветности с контролируемого образца на модели идентифицируемых цветов на их выходах появятся сигналы рассогласования. Наименьший сигнал рассогласования будет на выходе той модели, которая наиболее адекватна спектру отражения контролируемого образца.

**Литература. 1.** Лукьянов В.Г., Козубенко В.А. Устройство для идентификации цвета объектов. А.С. №721682, Б.И. №10, 1980 **2.** Лукьянов В.Г., Козубенко В.А. Устройство для идентификации цвета объектов. А.С. №1000779, Б.И. №8, 1983

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, ул. пр. Ленина, 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, кандидату технических наук, доценту, Лукьянову В.Г., тел. 8-913-091-23-35.

# ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

ГОПАЧЕНКО Ю.О., ЯКУНИН А.Г.

Экологическое состояние городов, связанное с повышением уровня загазованности, повышение дефицита топливных ресурсов являются одними из наиболее актуальных и сложных проблем современного мира. Наиболее перспективным направлением решения данных проблем является использование транспорта на электротяге, высокое влияние на развитие которого оказывает активность развития сети зарядных станций для электромобилей.

Эффективное распределение зарядных ресурсов для электромобилей является одним из важных аспектов развития области электромобилестроения. Таким образом, возникает потребность в разработке математической модели на основе системы массового обслуживания, позволяющей проектировать и рассчитывать эффективность работы сети зарядных станций. Данные показатели позволяют проанализировать и определить целесообразность размещения зарядной станции для электромобилей при заданных характеристиках [1].

Исследуемая система относится к многоканальным СМО с ограниченной длиной очереди. Задавая параметры системы и анализируя процесс обслуживания входного потока требований, можно установить зависимости между характером потока заявок, числом каналов обслуживания, производительностью отдельного канала и эффективным обслуживанием с целью нахождения наилучших путей управления этими процессами.

Таким образом достигается цель функционирования, то есть желаемое состояние системы, при котором будет обеспечен минимум суммарных затрат от ожидания обслуживания, потерь времени и ресурсов на обслуживание и от простоев каналов обслуживания [2].

В качестве входного потока требований в данной системе выступают электромобили, прибывающие на станцию для зарядки, количество которых определяется такими параметрами как:

- количество электромобилей в населенном пункте, использующих исследуемую станцию для зарядки;
- запас хода электромобиля;
- средний пробег электромобиля за сутки;
- расстояние от места проживания владельца электромобиля до станции [3].

Так как процесс работы СМО представляет собой случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем, то единица интервала, равная одному часу, является оптимальной.

Время активного состояния системы – это количество часов в сутки, в течение которых станция функционирует, то есть обслуживает требования, рассчитывается как промежуток между началом и окончанием активности:

$$\Delta t = t_2 - t_1,$$

где  $t_1$  – время начала активного состояния;

$t_2$  – время окончания активного состояния.

Вероятность наступления события  $N_{elji}$ , то есть появления заявки от  $i$ -го автомобиля в системе в интервал времени  $t_j$  ( $j=1\dots 24$ ) для каждой заявки определяется генератором случайных чисел в диапазоне  $(0,1)$  таким образом:

$$p_i = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i \geq 0,5, \\ 0, & \text{если } p_i < 0,5 \end{cases}$$

Частота, с которой заявки поступают в систему в интервал времени  $t_j$ , рассчитывается для каждого поступающего требования, полученная величина является интенсивностью поступления заявок в интервал времени  $t_j$  и определяется по формуле для каждого  $t_j$ :

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^{i=N_{el}} \frac{S_{ami} + S_{di} \cdot 2}{S_{pri}} \cdot p_i$$

где  $S_{ami}$  – средний пробег автомобиля за сутки;

$S_{pri}$  – запас хода автомобиля;

$S_{di}$  – расстояние от ЭЗС;

$N_{el}$  – количество автомобилей в населенном пункте в интервале времени  $t_j$ ;

$p_i$  – вероятность наступления  $i$ -го события о прибытии на заправку конкретного  $i$ -го электромобиля.

Интенсивность потока обслуживания требований  $n$ -каналами в единицу времени  $t_j$  определяется по формуле:

$$\mu_j = \frac{\Delta t}{\bar{t}_{chj}} \cdot n$$

где  $\Delta t$  – время активного состояния станции,

$\bar{t}_{chj}$  – среднее время заряда автомобиля на интервале  $t_j$ ,

$n$  – количество каналов обслуживания.

Время, затрачиваемое на заряд автомобиля – это отношение емкости аккумулятора электромобиля к мощности зарядного устройства, умно-

женное на 0,8, так как при быстрой зарядке постоянным током обычно заряжается лишь до 80% объема батареи, поскольку скорость дальнейшего заряда до 100% резко падает.

Среднее время заряда электромобиля рассчитывается как суммарное произведение времени заряда каждого электромобиля и его весового коэффициента (отношение интенсивности поступления одного электромобиля к интенсивности общего количества прибывающих на станцию электромобилей) [4]:

$$\overline{t_{chj}} = \sum_{i=1}^{i=N_{el}} \frac{c_{bi} \cdot 0,8 \cdot k_i}{P_{chi}},$$

где  $c_{bi}$  – емкость аккумулятора  $i$ -го автомобиля,

$P_{chi}$  – мощность зарядного устройства  $i$ -го автомобиля,

$k_i$  – весовой коэффициент, определяемый отношением интенсивности потока единицы требований  $\lambda_{ij}$  к интенсивности потока единиц требований на интервале  $t_j$ :

$$k_i = \lambda_{ij} / \lambda_j.$$

Количество обслуженных заявок в интервал времени  $t_j$  определяется отношением интенсивности входящего потока требований к интенсивности обслуживания:

$$\rho_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j}.$$

Количество необслуженных заявок за время  $t_j$  определяется разницей между числом поступающих и обслуженных заявок в единицу времени  $t_j$ :

$$M_{elj} = N_{elj} - \rho_j.$$

Для необслуженных на интервале времени  $t_j$  заявок определяется:

1.  $p_{ref}$  – вероятность отказа (refuse), то есть события, когда пользователь электромобиля отказывается от обслуживания и покидает станцию;
2.  $p_w$  – вероятность ожидания (wait), когда пользователь становится в очередь на ожидание обслуживания в следующий промежуток  $t_j$ ;
3.  $p_{rep}$  – вероятность запроса на повторное (repeat) обслуживание в промежуток времени, определенный самим пользователем.

Вероятности определяются генератором случайных чисел. Необходимое условие генерации:

$$p_{ref} + p_w + p_{rep} = 1.$$

Наибольшая по значению вероятность определяет дальнейшее поведение заявки.

Заявка, поступившая в момент, когда все  $n$  каналов заняты, становится в очередь и ожидает обслуживания. Количество мест в очереди огра-

ничено числом  $m$ , т.е. если заявка пришла в момент, когда в очереди уже стоят  $m$ -заявок, она покидает систему необслуженной.

Предельные вероятности состояний системы, среднее относительное время пребывания системы в данном состоянии, рассчитываются для каждого интервала времени  $t_j$ .

Формулы для расчета предельных вероятностей состояний:

$$p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \rho/n!}\right)^{-1}$$

$$p_1 = \rho p_0, p_2 = \frac{\rho^2}{2!} p_0, \dots, p_n = \frac{\rho^n}{n!} p_0$$

$$p_{n+1} = \frac{\rho^{n+1}}{nn!} p_0, p_{n+2} = \frac{\rho^{n+2}}{n^2 n!} p_0, \dots, p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0$$

На рисунке 1 представлен размеченный граф состояний, где под состояниями понимается степень загруженности каналов обслуживания.

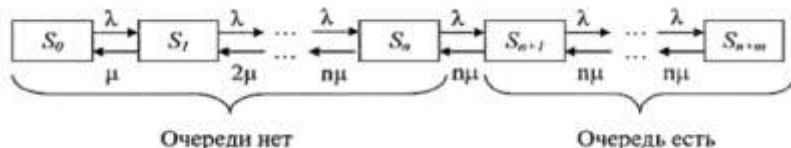


Рис. 1. Размеченный граф состояний

Состояния на рисунке 1 обозначают следующее:  $S_0$  – все каналы свободны,  $S_1$  – занят только один канал, ...,  $S_n$  – заняты все  $n$  каналов,  $S_{n+1}$  – заняты все  $n$  каналов и одна заявка в очереди, ...,  $S_{n+m}$  – заняты все  $n$  каналов и все  $m$  мест в очереди. Переходы из одного состояния в другое могут совершаться только из соседних состояний, под влиянием потоков событий с интенсивностями поступления заявок –  $\lambda_j$ .

Для каждого состояния определяется предельная вероятность – это вероятность того, что в исследуемый интервал времени система будет находиться в данном состоянии.

На основе полученных данных рассчитываются показатели эффективности работы системы [5]:

- вероятность отказа:

$$P_{\text{отк}} = p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0$$

- вероятность образования очереди:

$$P_{\text{оч}} = \sum_{i=0}^{m-1} p_{n+i} = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1 - (\frac{\rho}{n})^m}{1 - \frac{\rho}{n}} p_0$$

- относительная пропускная способность:

$$Q = 1 - P_{\text{отк}}$$

- абсолютная пропускная способность:

$$A = \lambda \cdot Q$$

- среднее число занятых каналов:

$$k_{\text{зан}} = \frac{A}{\mu} = \rho Q$$

- среднее число заявок, находящихся в очереди:

$$L_{\text{оч}} = \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot \frac{1 - (\frac{\rho}{n})^m (m + 1 - \frac{m}{n} \rho)}{(1 - \frac{\rho}{n})^2}$$

- среднее время ожидания в очереди:

$$T_{\text{оч}} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda}$$

- среднее число заявок в системе:

$$L_{\text{сист}} = L_{\text{оч}} + k_{\text{зан}}$$

- среднее время пребывания заявки в СМО:

$$T_{\text{сист}} = \frac{L_{\text{сист}}}{\lambda}$$

Исходя из полученных результатов, можно оценить загруженность и эффективность работы исследуемой системы, максимальные и минимальные значения определяющих эффективность работы системы показатели.

Программный комплекс представляет собой веб-серверное приложение, позволяющее осуществлять сбор и обработку пользовательских дан-



ных, на основе которых производится моделирование поведения входного потока требований.

Для проведения расчетов на основе изложенной выше математической модели и представления результатов для дальнейшего анализа в среде Visual Studio 2013 на C++ был разработан программный модуль «Расчет показателей эффективности работы станции», подключенный к базе с пользовательскими данными.

Сбор данных осуществляется посредством заполнения форм пользователем электромобиля, предоставляющего следующую информацию:

The screenshot shows a web form with the following fields and values:

- 1. Страна России, город:
- 2. Улицы:
- 3. Модель автомобиля:
- 3. Запас хода (км):
- 4. Средний пробег за сутки (км):
- 5. Предпочтительное время зарядки:
- 6. Потребность в быстрой зарядке:  требуется,  требуется время от времени,  не требуется

Рис. 2. Форма заполнения данных пользователем

Пользователь вводит следующие данные:

- адрес проживания или расположения электромобиля;
- модель электромобиля и технические характеристики: запас хода, емкость батареи;
- средний пробег за сутки;
- предпочтительное время зарядки;
- уровень востребованности использования зарядного устройства.

Расстояние от введенного пользователем адреса до всех станций выбранного населенного пункта определяется в режиме реального времени посредством службы Google Maps Direction API, и определяется станция, расстояние до которой наименьшее.

Для устранения неопределенности при заполнении адреса использует сервис КЛАДР для работы с базой адресов [6].

Предполагаемые или реальные данные исследуемой станции вводятся непосредственно администратором, проводящим анализ данной станции (рисунок 3).

**Задать параметры новой станции**

Name

-

Street

House

Рис. 3. Форма заполнения данных станции администратором

Администратор вводит следующие данные:

- наименование станции;
- адрес расположения.

Производится расчет расстояния от каждого зарегистрированного пользователя электромобиля до нововведенной станции, данные заносятся в базу на сервере.

В программном модуле «Расчет показателей эффективности работы станции» осуществляется обработка полученных данных и расчет показателей эффективности работы системы (рисунок 4).

Исходя из результатов расчета показателей, можно оценить загруженность и эффективность работы исследуемой системы.

Так как показатели рассчитываются для каждого интервала, можно определить максимальные и минимальные показатели активного времени работы системы.

Рассчитав показатели, при которых система функционирует максимально эффективно, будем называть их «оптимальные показатели», можно определить диапазон отклонения максимальных и минимальных показателей от «оптимальных». Исходя из данного диапазона, можно определить степень изменения исходных характеристик исследуемой системы.

**Литература. 1.** Самаров К.Л. Математика. Элементы теории массового обслуживания, учеб. пособие – М.: Учебный центр "Резольвента", 2009. – 18 с. **2.** Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Ковалев И.Н. Теория массового обслуживания: Учеб. пособие – М.: Высш. школа, 1982. – 256 с., ил.9 **3.** Щетина В. А., Морговский Ю. Я., Центр Б. И., Богомазов В. А. Электромобиль: техника и экономика – Л.: Машиностроение, 1987.– 253 с.: ил. **4.** Б. П. Бусыгин " Электромобили. Учебное пособие – МАДИ, 1979

год, 37 стр. 5. Кошуняева Н.В., Патронова Н.Н. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач) / САФУ им. М.В.Ломоносова. – Архангельск; САФУ, 2013 – 107 с. 6. КЛАДР в облаке//URL: <https://kladri.ru/>

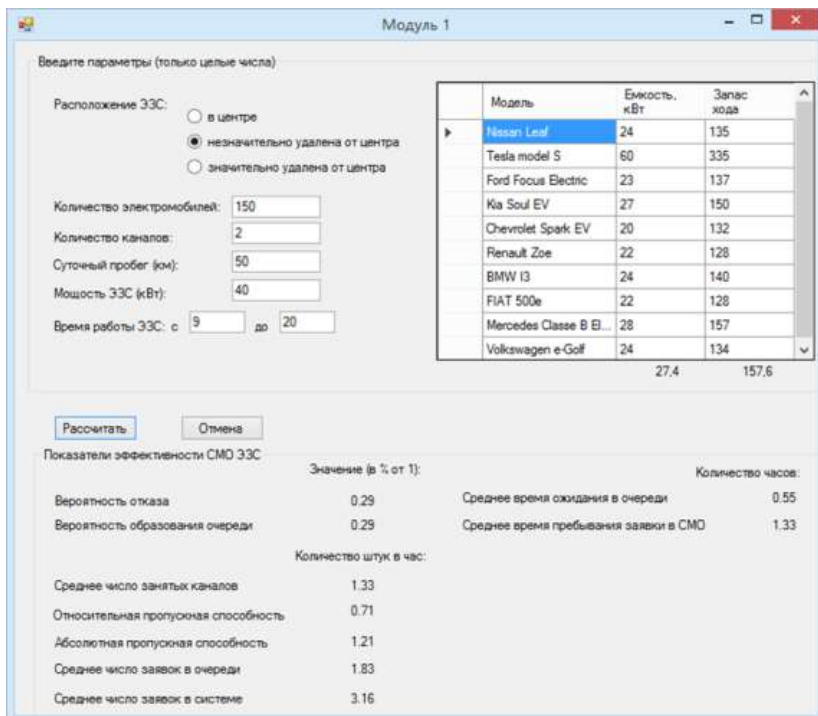


Рис. 4. Программный модуль «Расчет показателей эффективности работы станции»

**Реквизиты для справок.** Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова, кафедра информатики, вычислительной техники и информационной безопасности, д.т.н., профессор Якунин А.Г. – [yakunin@agtu.secna.ru](mailto:yakunin@agtu.secna.ru), магистрант Гопаченко Ю.О. – [Yulia.Gopachenko@yandex.ru](mailto:Yulia.Gopachenko@yandex.ru), тел. 8(3852) 29-07-86.

## 2 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ПРОВОДЯЩЕЙ ТРУБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

КИСЕЛЁВ Е.К., ГОЛЬДШТЕЙН А.Е.

На практике при эксплуатации труб возникает задача контроля внутреннего диаметра труб. Такая задача может быть связана с необходимостью контроля возможного изменения внутреннего диаметра в результате пластической деформации, вызванной механическими воздействиями на наружную или внутреннюю поверхности (сопряженными часто с одновременными термическими воздействиями) либо значительными коррозионными повреждениями внутренней поверхности. В случае если труба изготовлена из электропроводящего материала, может быть обеспечен доступ внутрь трубы, длина трубы не превышает нескольких десятков метров, с успехом может быть применен вихретоковый метод контроля. Конкурентными преимуществами вихретокового метода, по сравнению с альтернативными методами контроля, являются отсутствие необходимости контакта с поверхностью трубы (что особенно актуально в случае наличия механических и коррозионных повреждений поверхности, а также различных загрязнений), высокая скорость контроля, широкий диапазон измеряемых диаметров труб, простота настройки, малое влияние внешних факторов, отсутствие необходимости доступа к наружной поверхности трубы, возможность автоматизации процесса контроля и протоколирования его результатов. При определенных условиях контроля абсолютная погрешность измерений может не превышать десятых долей миллиметра, что удовлетворяет требованиям широкого круга практических задач.

Для решения данной задачи более всего подходит накладной трансформаторный вихретоковый преобразователь (ВТП), схематичная конструкция которого изображена на рис 1. Переменный ток  $I$ , протекающий через последовательно соединённые и согласно включённые обмотки возбуждения 1 и 2, создаёт переменное магнитное поле, которое в свою очередь наводит вихревые токи (токи Фуко) в стенках объекта контроля. При помощи измерительных обмоток 3 и 4 осуществляется измерение индуцированных вихревых токов. Для компенсации начальных напряжений измерительных обмоток используется обмотка 5. Число витков обмотки 1 –  $w_1$  равно числу витков обмотки 2 –  $w_2$ , число витков обмотки 3 –  $w_3$  равно числу витков обмотки 4 –  $w_4$ , а соотношение чисел витков компенсационной и измерительной обмоток должно обеспечивать равенство начальных напряжений этих обмоток.

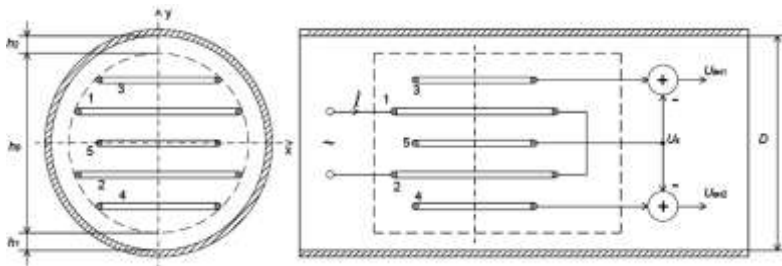


Рис. 1. ВТП внутри контролируемой трубы: 1, 2 – обмотки возбуждения; 3, 4 – измерительные обмотки; 5 – компенсационная обмотка

Для создания модели взаимодействия магнитного поля вихретокового преобразователя с ОК могут быть использованы известные математические выражения, приведенные в частности в [2]. При этом используются допущения, что обмотки имеют бесконечно малое поперечное сечение, а глубина проникновения электромагнитного поля меньше толщины стенки трубы. Однако выражения из [2] применимы только для случая плоских поверхностей и не подходят для объектов цилиндрической формы. Поэтому требуется получить решение без указанных допущений на основе экспериментальных исследований.

Данный метод по своей сути сводится к тому, чтобы измерять зазор между вихретоковым преобразователем и объектом контроля. А значение внутреннего диаметра трубы  $D$  находится суммированием трех слагаемых (1): измеренных значений  $h_1$  и  $h_2$  и диаметра измерительного зонда  $h_0$  (рис 1).

$$D = h_1 + h_2 + h_0 \quad (1)$$

В итоге, было исследовано устройство измерения внутреннего диаметра электропроводящих труб, реализующее вихретоковый метод. Была определена функция вычислительного преобразования сигналов ВТП. Также была предложена модификация первичного преобразования путём установки дополнительного вихретокового преобразователя, для отстройки возникающей ошибки измерения.

**Литература. 1.** Неразрушающий контроль. Справочник. [Текст] / под ред. В.В. Клюева: в 7 томах. Т 2: в 2-х кн.: Кн. 1: Контроль герметичности. Кн. 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с. **2.** Вихретоковый контроль внутреннего диаметра труб [Электронный ресурс] / А. Е. Гольдштейн [и др.] // Ползуновский вестник / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (АлтГТУ). – 2012. – № 3/2. – [С. 174 – 179].

**Реквизиты для справок:** Александр Ефремович Гольдштейн, д.т.н., профессор НИ ТПУ, [algol@tpu.ru](mailto:algol@tpu.ru), Евгений Константинович Киселёв, аспирант НИ ТПУ, [ekkl1@tpu.ru](mailto:ekkl1@tpu.ru).

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С РАЗЛИЧНОЙ ПЛОЩАДЬЮ ЭЛЕКТРОДОВ

ПЕРВУХИН Б.С., АФОНИН В.С., ЮШКОВА В.Б.

Увеличение точности кондуктометрических методов продиктовано временем. Точность измерения удельной электропроводности жидких сред зависит от различных факторов. Важнейшим фактором для разработки более точных методов служит используемая схема замещения кондуктометрической ячейки. Эта схема должна учитывать явления, происходящие при контакте электродов первичного преобразователя с анализируемой жидкостью. Эти явления порождают методическую погрешность в контактной кондуктометрии и являются составляющими импеданса электродов первичного преобразователя.

В работе [1] рассматривались схемы замещения кондуктометрической ячейки при параллельной (рис. 1, а) и последовательной (рис. 1, б) схемах замещения. При этом сопротивление  $R_3$  моделирует активное сопротивление ПИП, а ёмкость  $C_3$  – его диэлектрические свойства.

Параллельная схема замещения кондуктометрической ячейки приведена на рисунке 1.

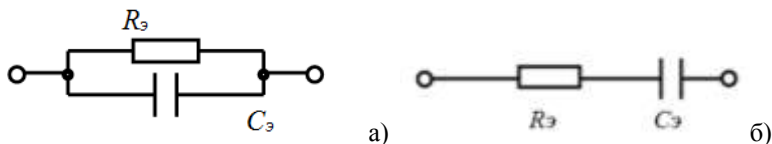


Рис. 1. Схема замещения контактного первичного преобразователя (а) – параллельная схема замещения; (б) – последовательная схема замещения)

Для того чтобы экспериментально определить параметры первичного преобразователя (ПИП), которые влияют на результат измерения удельной электропроводности (УЭП) растворов, необходимо выполнить следующие операции:

- подготовить несколько растворов с известным УЭП ( $\rho$ );
- измерить активное сопротивление ПИП с каждым из растворов при параллельной и последовательной схемах соединения электрической схемы замещения;
- определить активное сопротивление раствора в первичном преобразователе;
- определить постоянную первичного преобразователя и активное сопротивление контактов и подводящих проводов;
- определить суммарную ёмкость двойного электрического слоя электродов первичного преобразователя;

– определить суммарное поляризационное сопротивление электродов ПИП.

Данный метод определения параметров ПИП, влияющих на результат измерения удельной электропроводности жидкости, обладает рядом недостатков, в частности, большой массив данных сопровождается длительной обработкой, процесс получения результата измерения усложнён.

Упростить метод измерения УЭП с учетом составляющих импеданса электродов позволяет использование другой схемы замещения первичного преобразователя при контакте с анализируемой жидкостью (рис. 2).

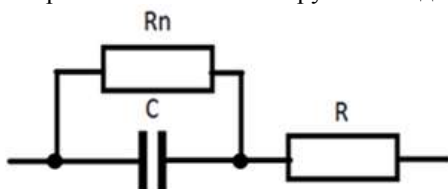


Рис. 2. Электрическая схема замещения ПИП

$R_n$  – поляризационное сопротивление;  $R$ -активное сопротивление анализируемого раствора;  $C$  – суммарная емкость двойного электрического слоя

Для определения параметров контактного ПИП данная схема замещения позволяет использовать переходную функцию по току или переходную проводимость [5]. Переходная проводимость определяется по формуле:

$$g(t) = \frac{1}{R + R_n} + \frac{R_n}{R(R + R_n)} \exp\left(-\frac{R + R_n}{RR_n C} t\right) \quad (1)$$

Первичный преобразователь питается импульсным напряжением формы:

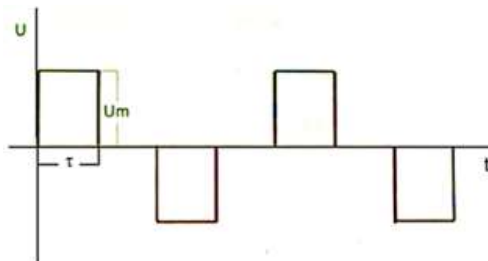


Рис. 3. Форма напряжения питания измерительной цепи

Длительность импульса должна быть такой, чтобы к началу следующего импульса выполнялись нулевые начальные условия [4].

Связь параметров первичного преобразователя с коэффициентами аппроксимирующей функции описываются следующими соотношениями [5]:

$$R = \frac{1}{a+b}, R_n = \frac{b}{a(a+b)}, C = \frac{(a+b)^2}{bc}; \quad (6)$$

Упрощенная схема прибора на основе преобразователя «ток-напряжение» изображена на рис. 4.

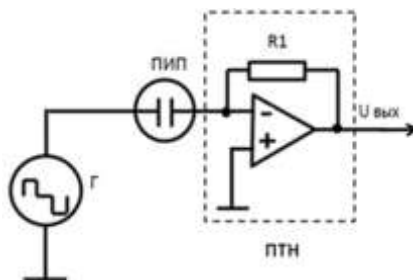


Рис. 4. Упрощенная структурная схема прибора  
Г – генератор; ПИП – первичный преобразователь; ПТН – преобразователь ток-напряжение; R1 – сопротивление обратной связи;  $U_{\text{ВЫХ}}$  – выходное напряжение

За выходной сигнал измерительной цепи принимается время, необходимое для достижения заданного каналом сравнения значения тока через ПИП с анализируемой жидкостью. При реализации этого метода необходимо:

- задать несколько значений тока через ПИП;
- измерить время достижения заданных значений тока;
- аппроксимировать проводимости, которые задают ток сравнения и время достижения этих значений током через ПИП зависимостью вида (1);
- определить параметры ПИП с анализируемой жидкостью.

Методы, перечисленные выше, предназначены для определения УЭП жидкости с использованием первичного преобразователя, имеющего электроды одинаковой площади, а следовательно, не учитываются нелинейные явления, происходящие на границе раздела сред. Нелинейные явления на границе электрода с раствором проявляются в том случае, если площадь электродов различна, они обусловлены разницей затрат энергии на окислительную и восстановительную электрохимические реакции, происходящие на электродах первичного преобразователя. Это выражается в наличии постоянной составляющей в синусоидальном сигнале на выходе первичного преобразователя (эффект фарадеевского выпрямления). Регистрация величины этого эффекта [6] позволяет контролировать сложные смеси.

Для реализации этих возможностей необходимо разработать метод определения параметров первичного контактного преобразователя, характеризующий нелинейность параметров электрохимического процесса,



происходящего на его электродах. При его разработке необходимо учесть эти параметры в эквивалентных электрических схемах первичного контактного преобразователя.

Для разработки метода необходимо реализовать следующие этапы:

– разработать эквивалентную схему замещения первичного контактного преобразователя. В эту схему необходимо ввести элементы, которые учитывают различные затраты энергии на окислительную и восстановительную электрохимические реакции;

– так как проводимость на положительном и отрицательном импульсах различна, необходимо определить переходную проводимость первичного преобразователя на положительном и отрицательном импульсах;

– определить длительность импульса, а также паузы напряжения питания;

– аппроксимировать полученные экспериментальные значения аналитическими зависимостями раздельно для каждой полярности импульсов напряжения питания;

– получить две системы уравнений для положительного и отрицательного импульсов напряжения питания;

– определить параметры первичного преобразователя отдельно на положительном и отрицательном импульсах напряжения питания.

Предложенный метод определения параметров контактного первичного преобразователя для кондуктометров, имеющего существенно разные площади электродов позволит определять активное сопротивление анализируемого раствора и получать информацию о нелинейных явлениях на границе раздела электрода и анализируемой жидкости. Одновременное получение информации об активном сопротивлении анализируемой жидкости и нелинейных явлениях на электродах создадут основу для разработки методов анализа концентрации растворов содержащих более одного растворенного компонента.

**Литература.** 1. Б.С. Первухин, Определение параметров емкостных первичных преобразователей кондуктометров / Первухин Б.С.//Измерительные системы – 2009 – № 3, с. 62-64. 2. Б.С. Первухин, Состояние и перспективы развития средств метрологического обеспечения кондуктометрических анализаторов жидкости / Первухин Б.С., Афонин В.С., Юшкова В.Б.// Ползуновский альманах – 2016 – № 2. – С. 42-46. 3. Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа. – М.: Высшая школа, 1975. – 296 с. 4. Юшкова В.Б. Модернизация метода измерения удельной электропроводности жидкостей, воды и химических растворов/Юшкова В.Б., Первухин Б.С.// Ползуновский вестник – 2015 – №4. Т.1.-С.95-98. 5. Сопин В.А. Метод измерения удельной электропроводности жидкостей с использованием переходного процесса/Сопин В.А., Тюркин В.С., Юшкова В.Б.// Ползуновский альманах –

2016 – №2.-С 197-201. 6. Фрумкин А. Н., О некоторых направлениях развития электрохимической кинетики. Сб. Вопросы химической кинетики, катализа и реакционной способности. М., изд-во АН СССР, 1955, стр. 402.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доктору технических наук, профессору, Первухину Б.С., тел. (385-2) 29-13-09. E-mail: [bspervuhin@mail.ru](mailto:bspervuhin@mail.ru)*

## **РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОЛИЧЕСТВА ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**ПАТРУШЕВА Т.В., ПАТРУШЕВ Е.М., НАЗДРЮХИН И.С.**

Современное массовое производство требует контроля и учёта создаваемых изделий. При производстве пластмассовых изделий предполагается высокая температура и давление в рабочей зоне, и для контроля количества изделий автоматические производственные линии снабжаются бесконтактными приборами контроля, например, фотоэлектрическими датчиками. Практическое применение таких датчиков нередко оказывается неэффективным из-за агрессивной атмосферы и близости к зоне с высокой температурой. По этой причине подсчёт количества производимых изделий нередко осуществляется вручную. Из-за влияния человеческого фактора ручной подсчёт числа изделий следует признать ненадёжным.

Удаление фотоэлектрического датчика от источников неблагоприятного воздействия на некоторое расстояние решает проблему повышения его надёжности и долговечности, но из-за ослабления получаемого сигнала, делает актуальным повышение достоверности измерительной информации при обеспечении работы в условиях нестационарной освещённости.

К простым способам повышения достоверности измерительной информации фотоэлектрических датчиков следует отнести использование когерентных источников света или повышение их мощности, модуляцию интенсивности светового пучка, уменьшение поля зрения фотоприёмника. Дальнейшее повышение достоверности измерительной информации может быть достигнуто путём совершенствования блоков обработки принятого сигнала, в частности обнаружителя.

Технически задача была сформулирована следующим образом: разработать лазерный фотоэлектрический датчик с отражением луча от объекта контроля, позволяющий надёжно подсчитывать изделия из белой матовой пластмассы с расстояния до 5 метров, при этом мощность лазерного излучателя не должна превышать 5мВт, а фоновая засветка может создавать облучённость фотоприёмника не более 1мВт/см<sup>2</sup>.

На рис. 1 представлена структурная схема разработанного прибора. На схеме условно обозначены: ГС – генератор синусоидальный; М – модулятор лазерного светодиода; У – трансимпедансный усилитель фотоприёмника; КФЗ – токовый корректор фоновой засветки; ПФ – полосовой фильтр; ГХ – генератор хаоса; Д – детектор хаоса; К – компаратор; С – счётчик.

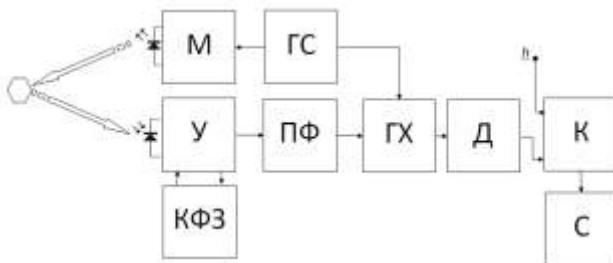


Рис. 1. Структурная схема лазерного фотоэлектрического прибора для контроля количества пластмассовых изделий

Поскольку отражённый от объекта контроля луч, очевидно, будет создавать весьма слабый сигнал с такого расстояния в сравнении с величиной фоновой засветки, в схему устройства были включены синусоидальный генератор с частотой 10 кГц и модулятор излучения лазерного светодиода, построенный по схеме источника тока. Также сигнал фотоприёмника будет содержать постоянную составляющую, обусловленную фоновой засветкой, и величина этой постоянной составляющей будет на несколько порядков превосходить полезный сигнал. Для компенсации этой составляющей трансимпедансный усилитель снабжается токовым корректором. Предварительная оценка порядка величин, с которыми предстоит иметь дело на приёмной стороне устройства, предполагала использование формулы для мощности светового излучения, получаемого фотоприёмником. Излучаемый лазерным светодиодом луч практически не расходится и рассеивается только на контролируемом объекте, и, следовательно, мощность принятого излучения  $w_{прин}$  будет ослабевать обратно пропорционально второй степени от расстояния:

$$w_{прин} = W_{изл} \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2 \cdot K_{отр} \quad (1)$$

где  $W_{изл}$  – мощность излучателя;  $r$  – радиус фотоприёмника;  $R$  – расстояние до объекта контроля;  $K_{отр}$  – коэффициент отражения.

При мощности модулированного светового пучка  $W_{изл}=3\text{мВт}$  и  $K_{отр}=0,75$  в рабочем диапазоне расстояний фотоприёмник будет получать мощность порядка  $10^{-10}..10^{-9}$  Вт, а с расстояния 5 м  $w_{прин}$  составит  $3,6 \cdot 10^{-10}$  Вт.

Для фиксирования столь слабого сигнала был использован высокочувствительный р-і-п фотодиод BPW-24R с чувствительностью  $S=0,6$  А/Вт и радиусом входного отверстия 2 мм. Трансимпедансный усилитель с типовым значением коэффициента преобразования  $10^6$  В/А обеспечивал предварительное усиление в широкой полосе частот. Дальнейшее предварительное преобразование осуществлялось полосовым фильтром с добротностью  $Q=10$ , центральной частотой пропускания 10 кГц и коэффициентом усиления в полосе пропускания  $K_u=500$ .

Разработка фотоэлектрического прибора предполагает проведение некоторых вспомогательных экспериментов, для подтверждения теоретических предпосылок и выявления иных трудноописываемых явлений. Была получена зависимость напряжения сигнала на выходе полосового фильтра  $U_{пф}$  от расстояния до объекта отражения (рис. 2) и осуществлено сравнение с теоретической зависимостью по формуле (1).

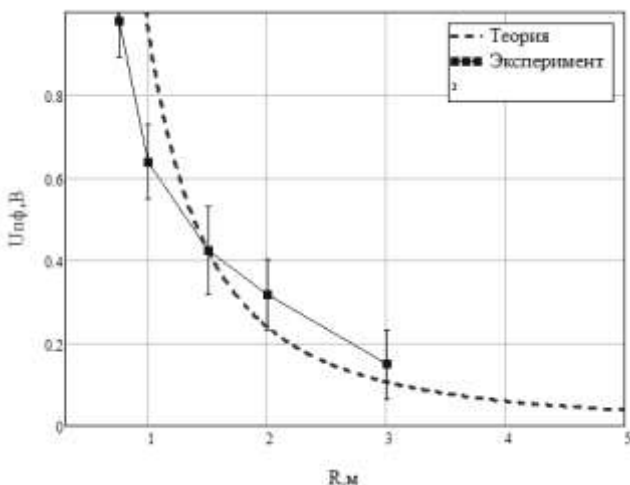


Рис. 2. Зависимость напряжения на выходе полосового фильтра для принятого сигнала от расстояния до объекта отражения

Поскольку производители полупроводниковых приборов редко приводят шумовые характеристики своих изделий в удобной для анализа форме, было проведено исследование шума, создаваемого фотоприёмником в зависимости от его облучённости  $E_e$  фоновой засветкой (рис. 3 и 4).

Данный эксперимент показал, что шумовое напряжение в диапазоне рабочих облучённостей может изменяться практически в 10 раз. Кроме того, при самой сильной облучённости, шумовые помехи становятся соизмеримы с полезным сигналом, при расстоянии до объекта уже начиная с 3 м.

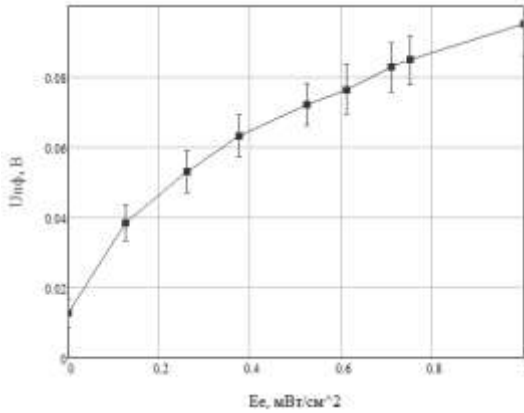


Рис. 3. Зависимость шумового напряжения (действующее значение) фотоприёмника от облучённости

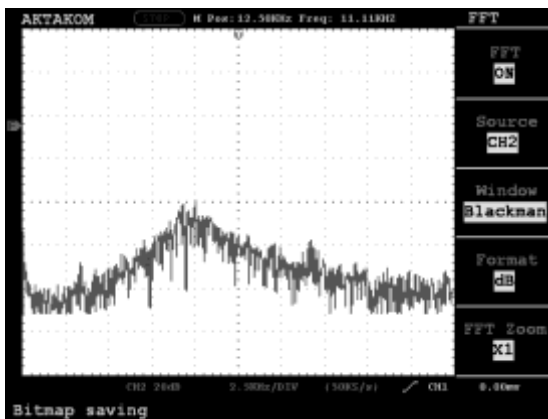


Рис. 4. Спектральная оценка шумового сигнала на выходе полосового фильтра при  $E_e=0.75$  мВт/см<sup>2</sup>

Поскольку шумовое напряжение непредсказуемо может изменяться в таком широком диапазоне, то мы имеем случай нестационарных помех, и использование простого обнаружителя на основе корреляционного приёмника будет осложняться тем, что при неизменном значении порога сравнения  $h$  вероятность ложного срабатывания  $P_F$  не сможет быть зафиксирована [1].

Таким образом, для преодоления проблемы непредсказуемого изменения мощности шума на выходе обнаружителя, он должен быть основан на использовании сугубо нелинейного явления и уже сам являться источ-

ником случайных сигналов. Таким механизмом можно считать использование бифуркаций в генераторе хаоса [2]. Сам принцип уже исследован, но до сих пор не было примеров его практического воплощения в виде прибора. В качестве обнаружителя использовался неавтономный генератор хаоса МЛС-цепь [3,4], в котором исходное состояние колебательной системы подстраивалось близко к границе «хаос – периодические колебания», соответствующей касательной бифуркации с рождением хаоса через перемежаемость I типа и демонстрацией сценария Помо-Манневилля [5].

Работа детектора сводилась к частотной фильтрации сигнала, получаемого от генератора хаоса. При работе генератора в хаотическом режиме спектр его сигнала практически весь сосредоточен в интервале от 0 до 1/3 от частоты опорного генератора [6], следовательно, детектор хаоса состоял из полосового фильтра и амплитудного детектора. Для амплитудного детектора постоянная времени  $T_{обн}$  устанавливалась соизмеримой 200 колебаниям опорного генератора (т.е. 20 мс) для обеспечения надёжного различения режимов хаоса и периодического движения.

Выходной сигнал детектора подается на решающее устройство типа компаратора, сравнивающего сигнал с некоторой постоянной величиной  $h$ . Устройством отображения прибора является пятиразрядный энергонезависимый счётчик. На рис. 5 показан внешний вид созданного прототипа. Добавим, что практическая реализация потребовала тщательного экранирования блоков датчика и фильтрации по питанию в каждом блоке.



Рис. 5. Внешний вид фотоэлектрического прибора

Генератор хаоса в качестве измерительного преобразователя может быть применён там, где требуется осуществить обнаружение периодического сигнала на фоне нестационарных шумов. На примере неавтономно-

го генератора хаоса была рассмотрена возможность использования МЛС-цепи в качестве обнаружителя сигналов. При помощи численных моделей были подобраны оптимальные параметры системы, необходимые для работы генератора хаоса в качестве обнаружителя сигналов. На основе предложенных соображений был реализован прототип фотоэлектрического датчика для условий нестационарной засветки.

**Литература.1.** Тихонов, В.И. Оптимальный приём сигналов/ В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320с. **2.** Yue, Li Chaotic system for the detection of periodic signals under the background of strong noise / Li Yue, Yang Baojun. – Chinese Science Bulletin. – 2003. – Vol. 48, № 5. – P. 508-510. **3.** Murali, K. The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit / K. Murali, M. Lakshmanan, L.O. Chua. // Trans. Circuits Syst. – New York: Circuits and Systems Society, 1994. – Vol. 41. – P. 462-463. **4.** Патрушева, Т. В. Численное моделирование процесса обнаружения периодических сигналов на фоне преобладающих шумов в приборах контроля, основанных на использовании генераторов хаоса / Т. В. Патрушева, Е.М.Патрушев // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2013. – № 1. – С. 59-64. **5.** Кузнецов С.П. Динамический хаос/С.П.Кузнецов // Физматлит. – М., 2001.– 296 с. **6.** Патрушева, Т.В. Детектор состояния в обнаружителе слабых периодических сигналов на основе генератора хаоса / Т. В. Патрушева, Е.М. Патрушев, И.С. Наздрюхин // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2016. – № 2. – С. 11-13.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656099, Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет, кафедра информационных технологий, Патрушева Т.В., тел. (3852) 290913. E-mail: patrucheva\_t@mail.ru.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭКРАНА ДИНАМИЧЕСКОГО ТЕСТ-ОБЪЕКТА**

ПАДАЛКО В.С., ЗРЮМОВ Е.А., ПРОНИН С.П., ЗРЮМОВ П.А.

Существуют методы оптической виброметрии, основанные на стробоскопическом эффекте и на анализе размытия изображения [1, 2]. Они относятся к методам фотосъемки и реализуются с помощью цифровых видеокамер с изменяемой кадровой частотой. Такие методы обеспечивают повышенный диапазон измерения частоты вибрации тест-объекта. Однако такие методы позволяют проводить измерения параметров только гармонической вибрации. Для расширения области применения данных методов можно использовать динамический тест-объект [3, 4].

**Целью** работы является изучение возможности применения оптического волокна для улучшения качества экрана динамического тест-объекта.

Существенное влияние на способность динамического тест-объекта удовлетворять необходимым техническим параметрам оказывает его экран, состоящий из светодиодов. Негативное влияние на качество экрана оказывает ряд причин, связанных с необходимостью применения дискретных SMD светодиодов:

- яркость свечения краев линзы ниже, чем яркость свечения кристалла светодиода;
- при расположении светодиодов на печатной плате невозможно устранить промежуток между их корпусами, что приводит к появлению темного пространства на экране;
- габариты светодиодов накладывают ограничение на минимальную дискретность изображения.

Устранить негативное влияние вышеперечисленных факторов можно, применив в конструкции экрана оптическое волокно (рисунок 1).

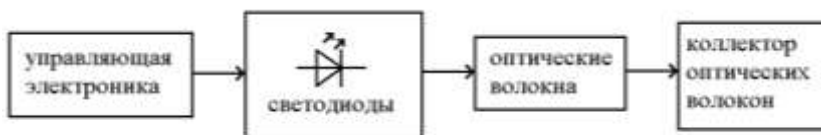


Рис. 1. Блок схема экрана с применением оптических волокон

При использовании оптического волокна, испускаемый светодиодами световой поток направляется в оптические волокна, которые закрепляются в коллекторе, где плотно примыкают друг к другу и располагаются на одной линии (рисунок 2).

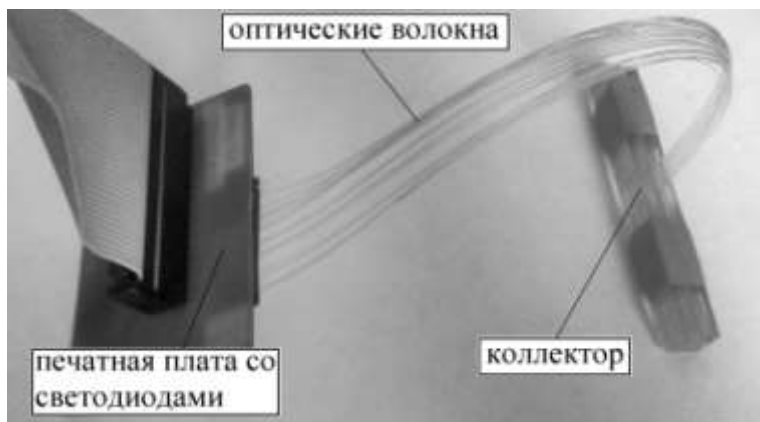


Рис. 2. Прототип экрана с применением оптических волокон



При этом площадь сечения оптического волокна сопоставима с размерами кристалла светодиода, что позволяет направить в оптоволокно равномерный световой поток максимальной яркости. Если невозможно расположить торец оптического волокна над центром кристалла светодиода или в случае большого диаметра оптического волокна, световой поток, испускаемый светодиодом, необходимо рассеивать [5].

Для изготовления опытного образца было применено пластиковое оптическое волокно диаметром 0,4 мм и SMD светодиоды KP-1608SGC типоразмера 0603.

Регистрация изображения экрана динамического тест-объекта велась камерой с линейным датчиком SONY ILX751A и объективом Индустар-61л/3-МС. При определении контраста Майкельсона максимальная яркость бралась из точки, соответствующей центру первого левого оптического волокна, минимальная – из точки, соответствующей промежутку между первым и вторым оптическим волокном.

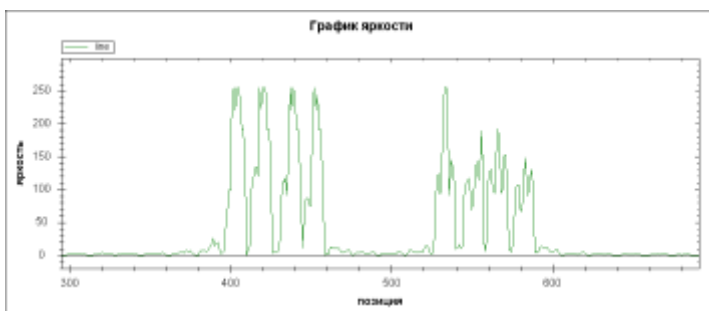


Рис. 3. График зависимости регистрируемой освещенности фотоприемника камеры от номера фоточувствительного элемента при использовании светодиодов

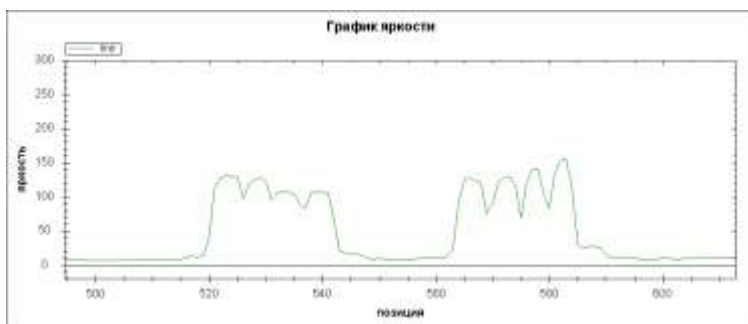


Рис. 4. График зависимости регистрируемой освещенности фотоприемника камеры от номера фоточувствительного элемента при использовании светодиодов и оптического волокна

На основе анализа полученных данных можно сделать следующие **выводы**:

1. Максимальная яркость при использовании оптического волокна падает с 254 до 133 единиц, при этом значение контраста уменьшается с 1 до 0,17, что является приемлемым;

2. Применение оптического волокна позволило уменьшить размер пикселей экрана. Регистрируемое камерой изображение светодиода занимает 9 пикселей. Изображение торца оптического волокна – 3;

3. Применение оптического волокна позволило устранить темный промежуток между излучающими элементами;

4. Присутствует неравномерность свечения торцов оптического волокна, что является следствием неточного позиционирования оптического волокна над центром кристалла светодиода.

Таким образом, применение оптического волокна позволяет улучшить характеристики экрана динамического тест-объекта.

**Литература.** 1. Пронин, С. П. Теоретические основы оптических методов измерения и контроля параметров гармонической вибрации: монография / С. П. Пронин, Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2011. – 73 с. 2. Zryumov E.A., Zryumov P.A., Pronin S.P. Optoelectronic stroboscopic system for measurement of the frequency of harmonic vibrations based on the use of a genetic algorithm. Measurement Techniques. – Springer, 2012, Volume 55, Number 4, Pages 425-430. 3. Зрюмов Е.А., Падалко В.С., Зрюмов П.А., Пронин С.П. Теоретическое и экспериментальное исследование структуры изображения вибрирующего тест-объекта, полученного с помощью ПЗС-фотоприемника видеокamеры. В сборнике: Измерение, контроль, информатизация материалы XVI международной научно-технической конференции. 2015. С. 93-97. 4. Зрюмов Е.А., Пронин С.П. Анализ частотно-контрастной характеристики видеосистемы на основе ПЗС-фотоприемника при вибрации тест-объекта. Известия вузов. Приборостроение. – СПб. : Изд-во ИТМО, 2013, Т. 57, № 3. – С. 81-85. 5. Padalko V.S., Zryumov E.A. Experimental research of the effect of the leds brightness on the structure of the image of the dynamic test object. International scientific technical conference on actual problems of electronic instrument engineering proceedings. - Novosibirsk NSTU, 2016, 12 Volumes, Volume 1, Part 1, Pages 299-301.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, д. 46. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, аспиранту Падалко Владимиру Сергеевичу, тел. (3852) 29-09-13, e-mail: [v.s.padalko@mail.ru](mailto:v.s.padalko@mail.ru)

# ОПТИЧЕСКИЕ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

МИРОШНИЧЕНКО И.П.

В настоящее время для решения целого ряда научных и производственных задач является актуальной разработка и использование высокоточных бесконтактных измерительных устройств, основанных на современных методах лазерной интерферометрии [1–3].

Известны и применяются для измерения малых линейных и угловых перемещений оптические устройства, представляющие собой различные модификации двухходового лазерного интерферометра с совмещенными ветвями, адаптированного для решения отмеченных задач [4–6].

Функциональные возможности известных устройств могут быть значительно расширены за счет обеспечения одновременного измерения линейных и всех угловых составляющих малых перемещений поверхностей объектов контроля (ОК) без установки дополнительных измерительных устройств, усложняющих конструкцию и эксплуатацию экспериментально-измерительного стенда.

**Целями работы** являлись разработка и научное обоснование способа и оптического устройства для бесконтактного измерения малых пространственных перемещений поверхностей ОК на основе использования новых методов лазерной интерферометрии.

Разработанные решения являются дальнейшим развитием способа и устройства [6].

Схема предлагаемого устройства изображена на рис. 1.

Предлагаемое устройство содержит источник когерентного оптического излучения (лазер) 1, оптическую систему 2, преобразующую излучение источника 1 в расходящийся пучок, светоделитель 3, выполненный в виде фазовой решетки, отражатель 4, жестко закрепленный на поверхности 5 ОК, экран 6, в плоскости которого установлены фотоприемные устройства (ФПУ) 7, разделенные на три группы 8, 9 и 10, каждая из которых размещена в соответствующих областях максимумов: –1 порядка 11, 0 порядка 12 и +1 порядка 13 интерференционной картины (ИК) 14 (см. рис. 2).

ФПУ 7 соединены с системой регистрации, обработки и отображения результатов измерений. Отражатель 4 и светоделитель 3 расположены друг к другу под углом  $\alpha$ , при этом отражатель 4 удален от внутренней поверхности светоделителя 3 на расстояние  $h$ . Отражатель 4 может отсутствовать, в этом случае его функции выполняет отражающая поверхность 5 ОК. Максимумы –1 порядка 11, 0 порядка 12 и +1 порядка 13 ИК 14 проецируются на экран 6.

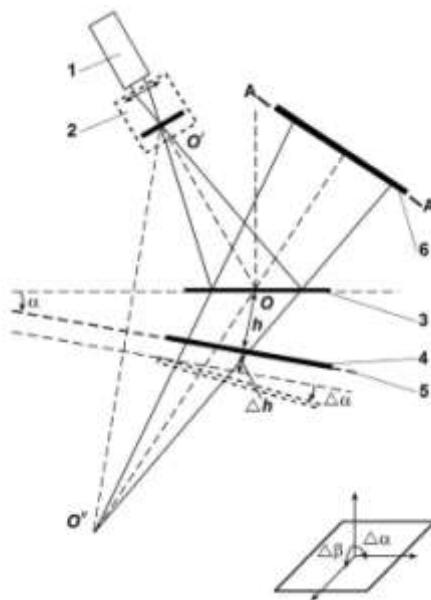


Рис. 1. Схема предлагаемого устройства

Принцип действия устройства заключается в следующем.

В процессе испытаний при возникновении линейной  $\Delta h$  и (или) угловых  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\beta$  составляющих малого перемещения поверхности 5 ОК происходит изменение интенсивности оптического поля в максимумах  $-1$  порядка 11, 0 порядка 12 и  $+1$  порядка 13 ИК 14, в том числе и в соответствующих их областях по месту установки выделенных групп 8, 9 и 10 ФПУ 7, которые регистрируют интенсивность оптического поля, при этом результатами измерений являются значения интенсивностей, полученные от каждой из групп 8, 9 и 10 ФПУ 7.

Одним из возможных вариантов обработки результатов измерений является, например, решение системы уравнений вида:

$$\begin{cases} I^{-1} = f_1(\Delta h, \Delta\alpha, \Delta\beta) \\ I^0 = f_2(\Delta h, \Delta\alpha, \Delta\beta) \\ I^{+1} = f_3(\Delta h, \Delta\alpha, \Delta\beta) \end{cases} \quad (1)$$

где  $f_1(\Delta h, \Delta\alpha, \Delta\beta)$ ,  $f_2(\Delta h, \Delta\alpha, \Delta\beta)$ ,  $f_3(\Delta h, \Delta\alpha, \Delta\beta)$  – известные зависимости соответственно для максимумов  $-1$  порядка 11, 0 порядка 12 и  $+1$  порядка 13, связывающие интенсивности соответственно с линейной  $\Delta h$  и угловыми  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\beta$  составляющими перемещения поверхности 5 ОК;  $I^{-1}$ ,  $I^0$

и  $I^{+1}$  – значения интенсивности, измеренные каждой из групп 8, 9 и 10 ФПУ 7, установленных в соответствующих областях максимумов –1 порядка 11, 0 порядка 12 и +1 порядка 13 ИК 14.

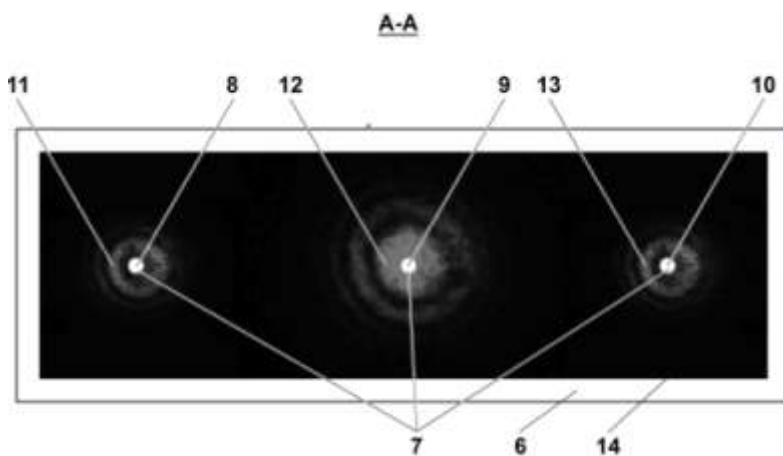


Рис. 2. Внешний вид ИК

Результатом обработки являются значения линейной  $\Delta h$  и значения угловых  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\beta$  составляющих перемещения поверхности 5 ОК, одновременно удовлетворяющие значениям интенсивности  $I^{-1}$ ,  $I^0$  и  $I^{+1}$ .

Таким образом, линейную и все угловые составляющие малого перемещения поверхности ОК можно определить на основании значений интенсивности, измеренных группами ФПУ в максимумах –1, 0 и +1 порядков по известным для каждого максимума зависимостям интенсивности от линейной и угловых составляющих малых перемещений поверхности ОК. При этом за результат измерения принимают то значение линейной и угловых составляющих перемещения, которое одновременно удовлетворяет измеренным значениям интенсивности в максимумах –1, 0 и +1 порядков ИК.

Описанное устройство защищено патентом РФ на изобретение [7].

### **Выводы.**

1. На основе использования новых методов лазерной интерферометрии разработаны новые способ и оптическое устройство для бесконтактного измерения малых пространственных перемещений поверхностей ОК, которые позволяют одновременно регистрировать линейную и все угловые составляющие малых перемещений поверхностей ОК.

2. Описанное устройство научно обосновано при проведении численного и экспериментального исследований его функциональных свойств и

позволяет расширить функциональные возможности известных отечественных и зарубежных измерителей малых перемещений, повысить информативность и существенно до 30 % точность результатов измерений.

3. Полученные результаты наиболее целесообразно использовать в процессе высокоточных измерений малых перемещений поверхностей ОК при проведении экспериментальных исследований и диагностике состояния образцов материалов силовых элементов изделий, находящихся в эксплуатации, исследовании волновых процессов в слоистых конструкциях сложной формы, выполненных из композиционных материалов, исследовании процессов дефектообразования в новых материалах в машиностроении, судостроении, авиастроении, приборостроении.

**Работа частично поддержана** грантом РФФИ № 16-08-00740.

**Литература.** 1. Miroshnichenko, I.P. Novel Optical Means for Measurement of Displacements of Surfaces of the Control Objects at Diagnostics of Materials and Goods / I.P. Miroshnichenko, I.A. Parinov, E.V. Rozhkov, V.P. Sizov, V.A. Shevtsov // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications.– New York: Nova Science Publishers, 2013.– pp. 145-154.

2. Miroshnichenko, I.P. Novel Optic Devices for Measurement of Displacements Based on Method of Control Object Highlighting by Using Laser Interferometer / I.P. Miroshnichenko, I.A. Parinov, S.-H. Chang // Advanced Materials. Studies and Applications.– New York: Nova Science Publishers, 2015.– pp. 437-451.

3. Miroshnichenko, I.P. Mathematical Models, Program Software, Technical and Technological Solutions for Measurement of Displacements of the Control Object Surfaces by Laser Interferometer / I.P. Miroshnichenko, I.A. Parinov, E.V. Rozhkov, S.-H. Chang // Advanced Materials Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics 175.– Springer International Publishing, Switzerland, 2016.– pp. 341-356.

4. Мирошниченко, И.П. Оптическое интерференционное устройство для измерений малых перемещений поверхностей объектов контроля с защитой от внешних механических воздействий / И.П. Мирошниченко, В.А. Шевцов // Ползуновский вестник.– 2014.– № 2.– С. 66-71.

5. Мирошниченко, И.П. Высокоточные оптические средства измерения перемещений для мобильных диагностических комплексов / И.П. Мирошниченко // Ползуновский вестник.– 2014.– № 2.– С. 95-99.

6. Мирошниченко, И.П. Оптические интерференционные средства измерений малых перемещений поверхностей объектов контроля и основные направления их совершенствования / И.П. Мирошниченко // Ползуновский вестник.– 2016.– № 2.– С. 144-149.

7. Патент 2606245 РФ, МПК G 01 B 11/24. Способ измерения линейной и угловых составляющих малых перемещений поверхностей объектов контроля / И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов, В.П. Сизов.– № 2015140197, заявл. 21.09.2015. опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1.– 11 с.

**Реквизиты для справок:** Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», заведующему кафедрой «Основы конструирования машин» Мирошниченко И.П., тел. 8-909-403-64-32, E-mail: [ipmir@rambler.ru](mailto:ipmir@rambler.ru).

## **О ВЫБОРЕ ПРОТОТИПА ПРИБОРА КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ (НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ) УПЛОТНЕННОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГРУНТОВЫХ АЭРОДРОМОВ И АВТОДОРОГ**

ГАНЖА В.А., ГАНЖА А.В.

Такие природные среды, как грунты, снег и лед (снежно-ледяные отложения) широко используются человеком в его инженерно-хозяйственной деятельности в качестве основания фундаментов зданий и сооружений, полотен автомобильных, железных дорог и других объектов, а также в качестве строительных материалов, например для возведения насыпей, устройства отдельных слоев конструкций дорожных одежд.

**Современное состояние вопроса.** На стадии инженерно-геологических исследований, а также при строительстве и последующем содержании автомобильных дорог различных категорий в обязательном порядке проводится полевой контроль материала несущих оснований, слоев дорожных одежд (при строительстве – для каждого конструктивного слоя) и дорожных покрытий с целью определения основных физико-механических свойств (ФМС) этих материалов, таких как: прочность (несущая способность); деформируемость (жесткость); плотность; угол внутреннего трения; сцепление и др.

Это необходимо для оценки прочности несущих оснований площадок при строительстве различных техногенных объектов, нормирования земляных работ, эффективной организации мер по поддержанию дорожных и аэродромных покрытий в эксплуатационном состоянии, а также для получения более полной информации о ФМС прочной среды, подлежащей разрушению рабочими органами уборочных машин, что позволит на стадии проектирования рассчитывать рациональные, с позиции минимизации энергозатрат и повышения производительности, параметры таких рабочих органов.

**Цель работы:** определение, в результате анализа литературно-патентных источников, значимых технических решений для выбора прибора – прототипа при разработке нового прибора – твердомера.

**Основные результаты литературно-патентного анализа.** Широкое применение на практике получили методы исследования ФМС различных твердых сред, основанные на пенетрации и зондировании.

Данные методы полевых испытаний твердых сред широко используются, начиная с 20 – х годов прошлого века, а конструкции средств кон-

троля постоянно прогрессируют в своем развитии. Существуют механические, электрические и пьезоэлектрические зонды статического нагружения, а также зонды для оценки сейсмических свойств грунтов: пьезо-сейсмоакустические, пьезоэлектрические с видеокамерой и т.д. [1].

В Сибирском федеральном университете в течение ряда лет ведутся работы по разработке и созданию измерительного прибора, а также метода оперативного полевого контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежного покрова грунтовых аэродромов и автодорог. Этот прибор должен быть конструктивно прост, надежен, прост в эксплуатации и техническом обслуживании, обеспечивать при этом высокую точность измерений и сохранять работоспособность в условиях низких температур. В качестве аналога нового прибора был принят твердомер НИАС [8].

Результаты анализа литературно-патентных источников свидетельствуют о том, что при всем многообразии средств и методов контроля ФМС различных твердых сред, применительно к уплотненному снежному покрову могут быть использованы ударник-зонд Союздорнии [2], динамический плотномер конструкции А.Н. Зеленина [3], приборы динамического зондирования предложенные В.З. Иофиком [4] и С. Киношитой [5]. Однако при внимательном изучении методов контроля с использованием перечисленных приборов установлен ряд факторов, ограничивающих или делающих невозможным использование этих методов и средств для контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежного покрова.

Применение ударника-зонда Союздорнии предписано документом [2] применительно к автозимникам при толщине снежного полотна более 10 см. Методика испытаний твердых сред по числу  $C$  – ударов динамического плотмера, конструкции А.Н. Зеленина, предусматривает погружение наконечника в испытуемый материал на глубину 10 см. Соответственно и длина наконечников обоих приборов составляет 10 см. Но в практике зимнего содержания грунтовых аэродромов и автодорог, а также дорог с искусственным покрытием, подлежащих очистке, толщина слоя уплотненного снега и прочных снежно-ледяных отложений ограничивается меньшими значениями.

В соответствии с нормативными требованиями к уровню зимнего содержания автомобильных дорог, толщина слоя снежного наката на дорожных покрытиях не должна превышать: для автодорог с искусственным покрытием, при интенсивности движения 100-1000 авт./сут – 4 см; для грунтовых автодорог при интенсивности движения до 100 авт./сут – 6 см.

В зависимости от наличия или отсутствия на дорогах автобусного движения допустимая толщина снега на покрытиях должна составлять: для дорог местного значения с регулярным автобусным движением (ин-



тенсивность до 500 авт./сут) – 5 см; для дорог и улиц местного значения непрерывного действия без автобусного движения (интенсивность 200-500 авт./сут) – 7 см, при нерегулярном движении – 10 см.

Ограничение по толщине слоя уплотненного снега предусмотрено и при зимнем содержании грунтовых взлетно-посадочных полос, подготавливаемых методом очистки: 6-8 см.

Очевидно, что ни ударник-зонд Союздорнии, ни динамический плотномер конструктивно не приспособлены для выполнения операций контроля прочности (несущей способности) исследуемой природной среды в силу избыточной длины инденторов, по отношению к толщине слоя покрытий, подлежащих оперативному полевому контролю.

Из восьми моделей динамического плотномера, предложенных В.З. Иофином [4], для работы с уплотненным снегом адаптирована только одна – модель №9, обеспечивающая контроль этой среды только слоями по 25 мм.

Возможность практического использования прибора С. Киношиты [5] ограничена недостатком опубликованной в открытых источниках информации о геометрических размерах элементов прибора, в т.ч. сменных круглых пластин и цилиндрических подставок, а также о массе этих элементов.

Наиболее близким к аналогу техническим решением является конструкция пенетрометра, предложенная В.С. Далиным в работе [6].

Конструкция прибора обеспечивает внедрение конического наконечника в испытуемую среду в результате падения по вертикали стержня с конусом с заданной высоты под воздействием их собственной массы. По шкале на стержне определяют глубину погружения конуса в грунт, и далее по калибровочной таблице – механические свойства грунта.

Данное техническое решение было принято авторами в качестве прототипа при разработке нового прибора – твердомера.

**Заключение.** В результате анализа литературно-патентных источников в исследуемой области были определены значимые технические решения, нашедшие воплощение в конструкции нового прибора – твердомера, исключающей недостатки прибора – аналога и прибора – прототипа, и обеспечивающей оперативный полевой контроль прочности (несущей способности) уплотненного снежного покрова грунтовых аэродромов и автодорог с высокой точностью [7, 8]. Новый твердомер изготовлен в металле и успешно испытан в условиях г. Красноярска [8].

**Литература.** 1. Болдырев Г.Г. Испытания грунтов методом пенетрации. Часть 1 / Г.Г. Болдырев // Инженерные изыскания. – 2010. – № 11. – С. 26-24. 2. ВСН 137–89. Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и Северо-Востока СССР. – Взамен ВСН 137–77. – Введ. 20.02.89. – М. : Минтрансстрой СССР, 1991. – 96 с. 3. Зеленин, А. Н. Машины для земляных работ / А. Н.

Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – М. : Машиностроение, 1975. – 424 с. **4.** Иофик В. З. выбор моделей динамического плотномера для определения трудности разработки грунтов / В.З. Иофик // Строительные и дор. машины. – 1990. – № 5. – С. 23–24. **5.** Шibuа М. Работа двухстадийного роторного снегоочистителя / М. Шibuа, Х. Кируяма. – Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Материалы 2-го Международного симпозиума, состоявшегося 15-19 мая 1978 г., Ганновер, штат Нью-Гэмпшир, США / Пер, с англ. Л.Я. Менис, М.Н. Шипковой; Под ред. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 1986. – 216 с. (стр. 129 – 137). **6.** Пат. 520535 СССР, МПК G01N3/42, G01L1/04. Пенетромтр / Далин В.С.; Заявл. 10.11.74; № 2074710/15; опубл. 05.07.76, бюл. № 25. – 2с. **7.** Пат. 2350923 Российская Федерация, МПК G 01 N 3/42. Твердомер / Р. Б. Желукевич, В. Н. Подвезенный, В. А. Ганжа ; заявитель и патентообладатель Сиб. федер. ун-т. – № 2007117229/28; заявл. 08.05.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9. **8.** Ганжа В.А. Полевой контроль качества аэродромных покрытий при их зимнем содержании под слоем уплотненного снега / В.А. Ганжа, П.В. Ковалевич, И.В. Каптюк // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVI международной научно-технической конференции. Том 1, г. Барнаул, 12 мая 2015 г. – Барнаул: АлтГТУ, 2015. С. 115-119.

**Реквизиты для справок.** *Россия, 660074, Красноярск, пр. Свободный 82 стр. 6, Институт нефти и газа сибирского федерального университета, кафедра топливообеспечение и горючесмазочные материалы, к.т.н., доцент Ганжа В.А. E-mail: [vladimirganzha@yandex.ru](mailto:vladimirganzha@yandex.ru)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СПЕКТРЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**

РАДЧЕНКО С.Е., КОЖЕВНИКОВА О.Г.

В работе предлагается статистический подход к решению задачи определения энергетического масштаба и состава спектра гамма-излучения. Его применение позволило получить эффективные оценки интенсивности фонового излучения и положения спектральных линий в масштабе номеров отсчетов спектра.

**Введение.** При проведении гамма-спектрометрических измерений важными задачами являются определение положения спектральной линии в составе энергетического спектра на энергетической оси, а также выделение фоновой составляющей. В данной работе предложено решение указанной задачи применительно к анализу спектра гамма-излучения, полученного при облучении углеродной мишени протонным пучком и прошедшего через исследуемый объект [1].

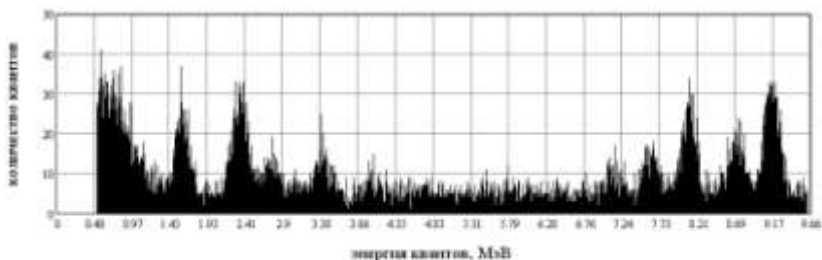


Рис. 1. Энергетический спектра гамма-излучения

Решение данных задач классическими методами затруднено в силу необходимости проведения дополнительной нормировки как по энергии (уменьшение времени экспозиции снижает влияние температуры, но не компенсирует его), так и по сечению реакции для того, чтобы сложение отсчетов различных спектров было корректным. Игнорирование такой калибровки приводит к получению результатов, противоречащих физической сути явлений. Например, вычитание спектра, полученного при меньшем токе протонного пучка, из спектра, полученного при большем токе (и, соответственно, сформированного большим количеством квантов), приводит к получению отрицательных значений отсчетов результирующего спектра.

**Алгоритмы оценивания.** Отсчеты спектра представляют собой пуассоновские случайные величины с интенсивностью, определяемой соответствующим значением функции, аппроксимирующей форму спектральной линии. При упрощенном подходе в качестве такой функции может быть применена функция Гаусса [2]. Интенсивность линии может быть учтена при помощи масштабирующего коэффициента  $S$ . Фоновое излучение, присутствующее на протяжении всего спектра, имеет сложный состав, однако упрощенно оно может рассматриваться как результат регистрации гамма-квантов непрерывного спектра с постоянной интенсивностью  $K$ . Результат сложения фонового и основного излучений, в силу аддитивного характера пуассоновского распределения [3], также будет иметь пуассоновское распределение с соответствующей функцией интенсивности:

$$f(i) = \frac{S}{\sqrt{2\pi D}} \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right) + K, \quad (1)$$

где  $D$  – параметр, определяющий ширину спектральной линии,  $i$  – номер отсчета,  $E$  – номер отсчета, определяющий положение линии на протяжении спектра.

Измерительные данные представлены выборочным вектором, составленным из отсчетов энергетического спектра, полученного при проведе-

нии одного эксперимента:  $\mathbf{x} = \{x_i\}, i=1..N$ , где  $N$  – объем выборочно-го вектора.

Отсчеты в пределах спектра статистически независимы, поэтому совместная плотность распределения вероятности выборочного вектора равна произведению плотностей распределений отдельных элементов вектора:

$$\omega(\mathbf{x}) = \frac{1}{\prod_{i=1}^N x_i!} \prod_{i=1}^N \left( \frac{S}{\sqrt{2\pi D}} \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right) + K \right)^{x_i} \times \times \prod_{i=1}^N \exp\left(-\frac{S}{\sqrt{2\pi D}} \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right) - K\right) \quad (2)$$

Задача определения положения линии, таким образом, эквивалентна задаче оценки параметра  $E$  распределения (2). Для ее решения воспользуемся методом максимального правдоподобия, поскольку он позволяет получить асимптотически эффективные оценки неизвестных параметров распределений выборочных данных [4].

Логарифмическая функция правдоподобия выборочных данных имеет вид:

$$L(\mathbf{x}) = \ln \left( \frac{1}{\prod_{i=1}^N x_i!} \right) + \sum_{i=1}^N x_i \ln \left( \frac{S}{\sqrt{2\pi D}} \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right) + K \right) + + \sum_{i=1}^N \left( \frac{S}{\sqrt{2\pi D}} \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right) - K \right) \quad (3)$$

Значение параметра  $E$ , обеспечивающее максимум функции (2), может быть найдено в нуле производной (3) по данному параметру [4]. По итогам нескольких преобразований уравнение для отыскания оценки получено в виде:

$$\sum_{i=1}^N \left( x_i \frac{S}{K\sqrt{2\pi D}} \frac{(i-E)}{D} \right) \frac{S}{K\sqrt{2\pi D}} \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right) - - \sum_{i=1}^N \left( x_i \frac{S}{K\sqrt{2\pi D}} \frac{(i-E)}{D} \right) \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right) = 0$$

Численное решение данного уравнения относительно параметра  $E$  является оценкой максимального правдоподобия. Благодаря учету параметров интенсивности спектральной линии и фонового излучения в структуре плотности распределения вероятности (2), оценка положения линии будет устойчива относительно их случайных изменений. Получен-

ная оценка также будет асимптотически эффективной, поскольку ее синтез проведен в соответствии с методом максимального правдоподобия.

Для оценки параметра фонового излучения  $K$  предлагается использовать метод достаточных статистик. Использование достаточных статистик существенно снижает размерность задачи, что позволяет получить алгоритм принятия решений, основанный только на достаточных статистиках. Выражение для оценки имеет следующий вид:

$$\sum_i x_i = NK + \frac{S}{\sqrt{2\pi D}} \sum_{i=1}^N \exp\left(-\frac{(i-E)^2}{2D}\right).$$

Оценка параметра, характеризующего фоновое излучение, также была получена путем численного решения уравнения.

**Результаты моделирования.** Имитационное моделирование оценки проведено в программе MathCAD. Исходные данные для определения относительной среднеквадратической погрешности оценки были получены по модели энергетического спектра, состоящего из одной спектральной линии с интенсивностью, определяемой согласно (1).

На рис. 2 приведена зависимость относительной среднеквадратической погрешности оценки от соотношения интенсивностей исследуемой спектральной линии и фонового излучения. Объем экспериментальной выборки составил 2000 отсчетов.

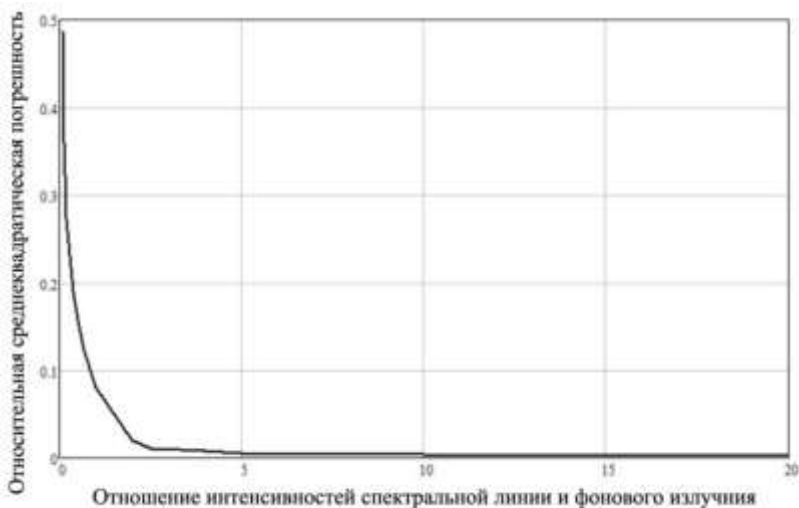


Рис. 2. Зависимость среднеквадратической погрешности от отношения интенсивности спектральной линии к интенсивности фонового излучения

Видно, что для значений более 5 (что соответствует реальным условиям проведения экспериментов) значение погрешности не превышает 1%. На рисунке 3 приведена зависимость относительной среднеквадратической погрешности оценки параметра фонового излучения от отношения интенсивности спектральной линии к интенсивности фонового излучения.

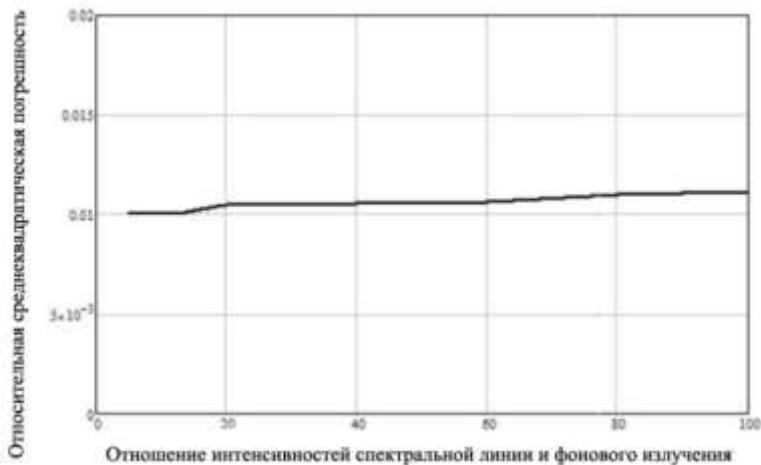


Рис. 3. Зависимость относительной среднеквадратической погрешности оценки параметра фонового излучения от отношения интенсивности спектральной линии к интенсивности фонового излучения

Из полученной зависимости видно, что для значений более 5 (что соответствует реальным условиям проведения экспериментов) значение погрешности не превышает 1.25%.

**Обсуждение результатов.** Получены оценки положения спектральной линии и интенсивности фонового излучения в составе энергетического спектра гамма-излучения на основе численного решения уравнений, полученных методом максимального правдоподобия, а также с использованием полных достаточных статистик. Оценки устойчивы к случайным изменениям мешающих параметров распределения выборочного вектора, погрешность оценки энергии не превышает 1%, оценки интенсивности фона – 1.25%, для случаев, соответствующих условиям реальных экспериментов. Эффективность оценок подтверждена процедурой синтеза в соответствии с методом максимального правдоподобия и использования полных достаточных статистик. Применение данных оценок совместно с другими средствами обработки результатов гамма-спектрометрических экспериментов позволит осуществлять калибровку энергетической шкалы детектора гамма-квантов и детектирование фонового излучения в составе спектра гамма-излучения.

**Литература.** 1. A.S. Kuznetsov, Yu.I. Belchenko, A.V. Burdakov, V.I. Davydenko, A.S. Donin, A.A. Ivanov, S.G. Konstantinov, A.S. Krivenko, A.M. Kudryavtsev, K.I. Mekler, A.L. Sanin, I.N. Sorokin, Yu.S. Sulyaev, S.Yu. Taskaev, V.V. Shirokov and Yu.I. Eidelman. The detection of nitrogen using nuclear resonance absorption of mono-energetic gamma rays. – Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 606 (2009), P.238-242. 2. Гельфанд И.М., Шилев Г.Е. Обобщенные функции и действия над ними. – М., «Государственное издательство физико-математической литературы», 1959. – 470 с. 3. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Теория распределений. – М., «Наука», 1966. – 588 с. 4. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез. – М., «Наука», 1984. – 472 с.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 630073, Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20 к.4, Новосибирский государственный технический университет, кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств, к.т.н. Радченко С.Е., R1505@mail.ru, тел. +7-923-183-8077.*

## **КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЯХ**

**ХМЕЛЕВ В.Н., БАРСУКОВ Р.В., ИЛЬЧЕНКО Е.В.**

Применение ультразвуковых (УЗ) технологий в различных отраслях промышленности обеспечило новый уровень развития многих производств. Наибольшее распространение технологии ультразвукового воздействия получили при сварке металлов и термопластов, для изменения структуры и свойств жидко – дисперсных сред при диспергировании, очистке, экстракции и получении эмульсий, для размерной обработки твердых и хрупких материалов. УЗ технологии прочно заняли свою нишу в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве и даже в быту. Во всех случаях применения таких технологий возникает проблема обеспечения УЗ воздействия с максимальной эффективностью.

В настоящее время проблему выбора режима УЗ воздействия для обеспечения максимальной эффективности вынужден решать пользователь УЗ оборудования, обеспечивая ручную корректировку параметров аппарата (мощность, время воздействия, частота). Такая корректировка производится интуитивно, полагаясь на собственный субъективный опыт. При этом режимы УЗ воздействия зачастую оказываются неоптимальными. Несмотря на это, УЗ воздействие обеспечивает интенсификацию реализуемых процессов, экономически оправдывая применение УЗ аппаратов. Это обуславливает недостаточное внимание к вопросам оптимизации параметров УЗ воздействий и сдерживает развитие УЗ оборудования в целом.

В ряде работ [1] приводятся результаты исследований, показывающие, что оптимизация УЗ воздействий при реализации различных технологических процессов, протекающих в мощных ультразвуковых полях, возможна только при непрерывном контроле параметров реализуемых процессов и параметров УЗ воздействия. Поэтому дальнейшее развитие УЗ оборудования возможно только путем интеграции в него систем контроля технологических процессов, протекающих в УЗ полях.

Перспективным направлением развития УЗ аппаратов является интеграция в их структуру систем контроля, где в качестве чувствительного элемента используются пьезоэлектрические колебательные системы (УЗКС) [2], параметры которых в некоторых случаях сильно зависят от свойств обрабатываемых сред и процессов, протекающих в них.

Контроль параметров УЗКС позволяет косвенным образом контролировать процессы и явления, протекающие в подвергаемых УЗ воздействию средах без применения дополнительных датчиков и чувствительных элементов. Параметрами и характеристиками УЗКС являются: резонансная частота, добротность, напряжение на электромеханическом преобразователе и потребляемый ток, а так же частотные характеристики, значения эквивалентных RLC параметров схемы замещения УЗКС (Рис. 1) [2].

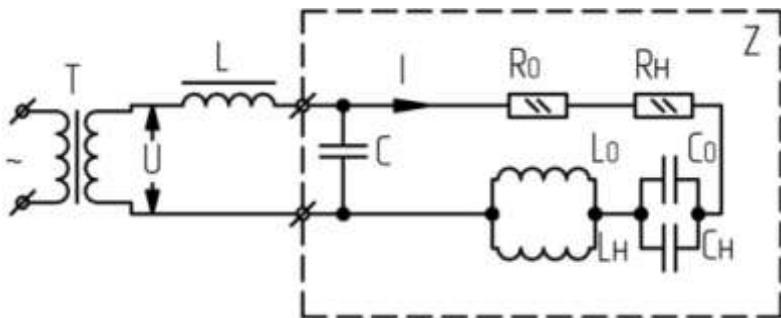


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

Предпосылками такого способа контроля технологических процессов и явлений, протекающих в УЗ полях, стали, в частности, работы, посвященные автоматизации процесса сварки термопластичных материалов [3] и управлению процессом УЗ липосакции [4,5].

Так, анализ формы тока, потребляемого УЗКС в процессе сварки, позволяет контролировать ее стадии и выключать УЗ воздействие в момент формирования максимального по прочности соединения [3]. Аналогичным образом, путем контроля тока, потребляемого УЗКС при проведении процедуры УЗ липосакции (кавитационное разрушение жира), реализует-



ся режим контроля процесса УЗ воздействия (детектор наличия акустической нагрузки на излучатель) для уменьшения мощности воздействия на интервале «холостой ход», исключая недопустимое воздействие на пациента [4,5].

Косвенный контроль процессов и явлений, протекающих в УЗ поле связан с акусточувствительностью УЗКС, т.е. изменением ее параметров в зависимости от значений акустической нагрузки.

Схема косвенного контроля процессов и явлений, протекающих в УЗ полях, путем измерения параметров УЗКС может быть представлена следующим образом (рис. 2).

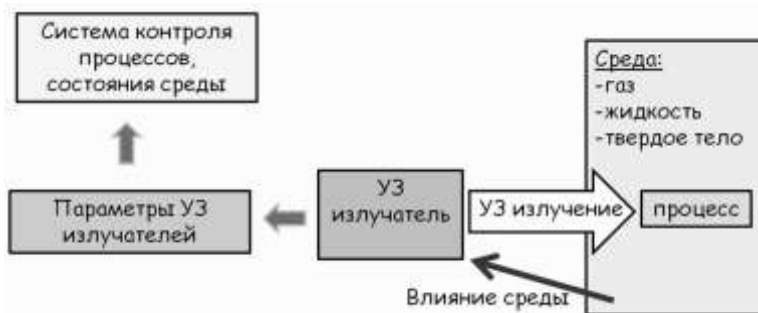


Рис. 2. Схема косвенного контроля технологических процессов и явлений протекающих в УЗ полях

УЗКС воздействует на среду с определенными акустическими свойствами, в ней реализуется какой либо процесс, меняются свойства исходной среды и, следовательно, меняются параметры УЗКС. Таким образом, для контроля процессов, протекающих в УЗ полях, необходимо контролировать параметры УЗКС.

Представленная на рис.2 схема контроля была реализована в экспериментальном стенде, на котором проводились практические исследования. Результатом исследований стало создание экспериментального УЗ оборудования, способного контролировать процесс изменения свойств сред в ходе УЗ воздействия на них, идентифицировать различные озвучиваемые среды, контролировать развивающиеся в жидких средах кавитационные явления (рис. 3, а).

На рис. 3, б представлено семейство кривых, характеризующих зависимость активного сопротивления  $R$  механической ветви УЗКС от напряжения питания пьезоэлектрического преобразователя УЗКС, полученных при работе УЗКС в водных растворах сахарозы различных концентраций.

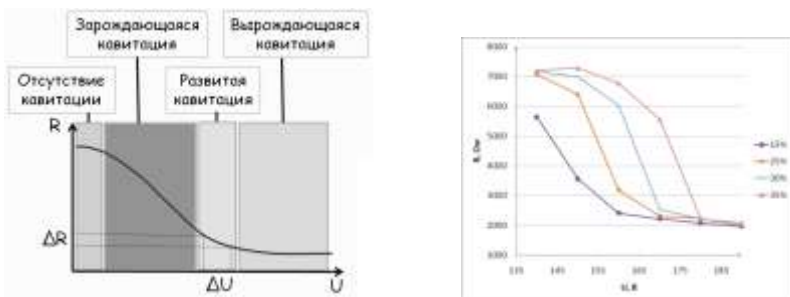


Рис. 3. Типичная зависимость активного сопротивления механической ветви УЗКС от возбуждающего напряжения  
 а) зоны кавитационной активности б) зависимость активного сопротивления механической ветви от возбуждающего напряжения

Представленные кривые, имеют характерный вид и иллюстрируют зависимость параметра R от степени развития кавитации в растворе. Это позволяет контролировать стадии развития кавитационного процесса в среде. А поскольку эти кривые индивидуальны для каждой концентрации раствора, они свидетельствуют о возможности контроля процесса изменения концентрации растворов.

Представленные на рис. 4 зависимости индуктивной части импеданса механической ветви УЗКС от напряжения питания, полученные при воздействии на среды с различными физическими свойствами, иллюстрируют возможность идентификации различных сред, и показывают возможность контроля физических свойств обрабатываемых сред.

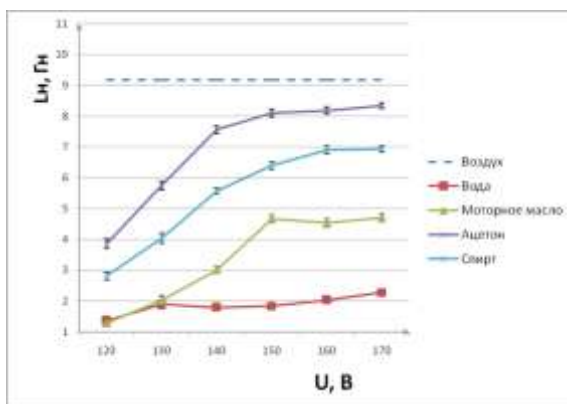


Рис. 4. Зависимость индуктивной части импеданса механической ветви УЗКС от возбуждающего напряжения

Интеграция системы косвенного контроля технологических процессов позволяет создать новый класс УЗ аппаратов, способных обеспечить максимальную эффективность воздействия при обработке жидких, твердых и газообразных сред.

**Литература 1** Хмелев, В.Н., Барсуков Р.В., Генне Д.В., Ильченко Е.В. Интеграция системы контроля режима кавитационного воздействия в ультразвуковое технологическое оборудование // Ползуновский вестник. 2016. №3. С. 87–92. **2** Хмелев, В.Н., Барсуков Р.В., Ильченко Е.В. Система контроля свойств технологических сред, подвергаемых воздействию ультразвуковых полей высокой интенсивности // Датчики и системы. 2013. № 6. С. 52–56. **3** Способ герметизации картриджей для очистки воды [Текст]: пат. 2241599 Рос. Федерация: МПК7 В29С65/08 / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин, А.В. Шалунов, И.И. Савин, М.В. Хмелёв, С.В. Левин; заявл. 11.12.2003; опубл. 10.12.2004. **4** Способ управления процессом ультразвуковой липосакции [Текст]: пат. 2240073 Российская федерация МПК А61В18/00, А61В17/32 / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – №2003107030/14; заявл. 13.03.2003; опубл. 20.11.2004. **5** Хмелев, В.Н. Ультразвуковой аппарат для проведения лечебных и косметических процедур [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко // Ползуновский вестник. – 2012 – №2/1. – С. 196–200.

**Реквизиты для справок:** Россия, 659305, Бийск, ул. Трофимова 27, ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», Барсуков Р.В., тел. (3854) 432570. E-mail: roman@bti.secna.ru

## **ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА**

ИСМАИЛОВ Т.А., ЕВДУЛОВ О.В., КАДИРОВА Д.К., КАЗУМОВ Р.Ш.

В настоящее время существует целый ряд областей применения термоэлектрических устройств, где имеет место изменение температуры теплоносителей вдоль поверхностей термоэлектрической батареи (ТЭБ), поглощающих и выделяющих тепло [1]. В первую очередь сюда относятся различные типы теплообменных аппаратов и интенсификаторов теплопередачи: охладители и нагреватели потоков жидкостей и газов, кондиционеры, утилизаторы нагретых отходов производств и т.п. При значительном прогрессе в теории и практике термоэлектрической техники работы по устройствам подобного типа практически отсутствуют, не разработаны в полной мере их теоретические основы, не указаны эффектив-

ные режимы работы, не определены области целесообразного применения таких устройств. Поэтому представляет интерес исследование термоэлектрических теплообменных аппаратов специальной конструкции с улучшенными энергетическими и массогабаритными характеристиками, их оптимизация, определение основных параметров, а также рациональных областей применения. Указанный интерес обусловлен недостаточностью исследований в этой области наряду с острой необходимостью разработки действенных высокоэффективных теплообменных аппаратов с улучшенными свойствами. Отмеченные обстоятельства и определяют актуальность разработки новых модификаций термоэлектрических теплообменных аппаратов.

Разработана конструкция прибора для интенсификации процесса теплопередачи между потоками двух сред, структурная схема которого изображена на рис.1 [2]. Аппарат состоит из термоэлектрической батареи 1, составленной из идентичных по размерам и физическим свойствам термоэлементов, питаемой источником электрической энергии (на рис.1 не показан), обе поверхности которой находятся на некотором расстоянии от стенок 2 транспортных зон 3 с движущимися в них средами 4. В начале и конце транспортных зон 3 в направлении, перпендикулярном движению сред 4 устанавливаются вентиляторные агрегаты 5, запитываемые от того же источника электрической энергии, что и термоэлектрическая батарея 1. Вентиляторные агрегаты 5 осуществляют продув воздуха в зазоре между стенками 2 транспортных зон 3 и поверхностями термоэлектрической батареи 1, причем один вентиляторный агрегат работает на вдув воздушного потока, а второй на его выдув.

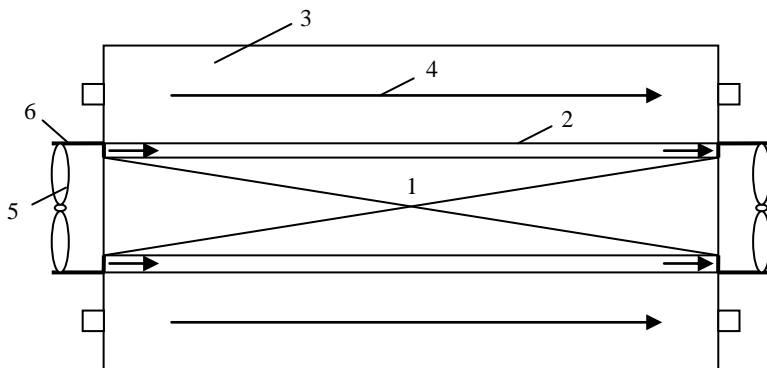


Рис. 1. Структурная схема термоэлектрического теплообменного аппарата

Термоэлектрическая батарея 1, транспортные зоны 3 и вентиляторные агрегаты 5 образуют жесткую механическую конструкцию посредством крепежных приспособлений 6.

Термоэлектрический теплообменный аппарат функционирует следующим образом. При пропускании через термоэлектрическую батарею 1 постоянного электрического тока от источника энергии на одних спаях термоэлементов будет поглощаться теплота Пельтье, а на других – выделяться. Если холодные спаи термоэлементов будут находиться в непосредственной близости со стенкой 2 транспортной зоны 3 с горячей движущейся средой 4, а горячие спаи термоэлементов – со стенкой транспортной зоны с холодной движущейся средой, то за счет имеющегося перепада температур будет происходить интенсификация обмена тепловой энергией между двумя потоками сред. При этом продув воздуха в зазорах между стенками 2 транспортных зон 3 и поверхностями термоэлектрической батареи 1 воздушными агрегатами 5 даст возможность повысить коэффициент теплопередачи между ними за счет обеспечения режима вынужденной конвекции, при котором значение данного коэффициента существенно выше, чем в случае кондуктивного механизма теплообмена.

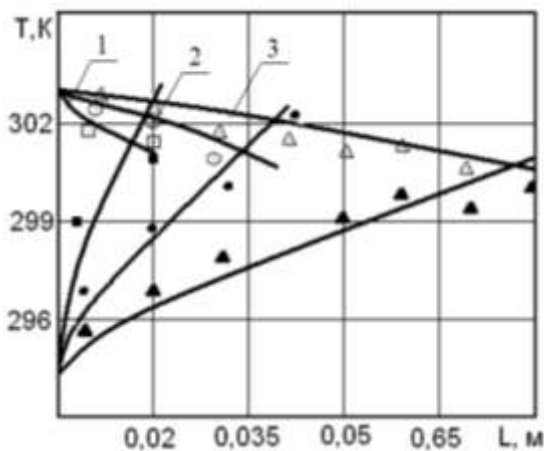


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата в зависимости от длины при различных скоростях вращения лопастей вентиляторного агрегата (1 –  $\xi=3000$  об/мин.; 2 –  $\xi=2500$  об/мин.; 3 –  $\xi=2000$  об/мин.; 4 –  $\xi=1500$  об/мин.)

Получены зависимости изменения температуры сред T на выходе теп-

лообменного аппарата от его длины для различных скоростей вращения лопастей вентиляторного агрегата  $\xi$  при фиксированной величине тока питания ТЭБ, равной 5 А, представленные на рис.2. Точками обозначены результаты измерений.

Согласно полученным данным увеличение скорости воздушного потока вдоль транспортных зон со средами дает возможность снизить (увеличить) их температуру на выходе из теплообменного аппарата при его одинаковой длине. Так изменение  $\xi$  на 500 об/мин. в среднем изменяет температуру нагреваемой среды на 2 К, а нагреваемой – на 3 К.

**Литература. 1.** Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Термоэлектрические преобразователи энергии. – Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества. – 2003. – 376 с. **2.** Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Казумов Р.Ш. Экспериментальные исследования термоэлектрических теплообменных аппаратов проточного типа с тепловыми мостиками // Вестник Международной академии холода. – 2010. – № 4. – С. 5-7.

*Реквизиты для справок. Россия, 367015, Махачкала, пр. Имама Шамиля 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», кафедра теоретической и общей электротехники, к.т.н., доцент Евдулов О.В. – ole-ole-ole@rambler.ru, тел. (8722)628269.*

## **СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РАЗМЕРНОГО СОСТАВА ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В РАЗНОТИПНЫХ ОЗЁРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

**БУКАТЫЙ В.И., ЛИТВИХ М.Е.**

Взвешенное вещество представляет собой совокупность частиц, рас-пределённых в толще воды, оно является важной частью водных экосистем и выполняет ряд функций в водоёме. Так, взвешенное вещество влияет на гидрооптические свойства воды, температурный режим в водоёме, участвует в процессах круговорота вещества и потоке энергии, занимает одно из важных мест в трофических взаимоотношениях в экосистеме [1]. Частицы, находящиеся в воде во взвешенном состоянии, играют важную роль в формировании качества вод и биопродуктивности водоёмов. Они определяют режим освещённости водных масс, механически воздействуют на гидробионты, служат объектами адсорбции многих микроэлементов, обеспечивают формирование комплекса донных отложений и т.д.[2–5]. С этой точки зрения изучение размерного состава и концентрации взвешенного вещества определённо является приоритетным и актуальным направлением также в гидрооптических исследованиях с целью экологической оценки водных объектов. Целью данного исследования является экспериментальное определение среднего размера и концентрации частиц водной взвеси в поверхностном слое пресноводных

водоёмов Алтайского края в различные сезоны года 2015–2017 гг. с помощью метода оптической микроскопии.

В качестве водных объектов для исследований были выбраны три пресноводных озера: Лапа, Красиловское и Большое Островное. Водоёмы отличаются по происхождению и положению в ландшафте, по морфологии, проточности и степени трофности, т.е. являются разнотипными.

Взвесью (сестоном) принято считать частицы разнообразного происхождения – терригенного, биогенного, вулканогенного, хемогенного, космогенного, пассивно взвешенные в воде и имеющие размеры от 0,5 мкм до 1 мм [6]. Концентрация взвешенных в воде частиц связана с климатической сезонностью и гидрохимическим режимом исследуемого водного объекта, а также зависит от различных антропогенных факторов [7].

Исследования частиц взвешенного вещества осуществлялись с помощью метода оптической микроскопии. Метод оптической микроскопии позволяет получать изображение частиц, которое возможно проанализировать как вручную, так и автоматически. Измерения размера частиц проводят с помощью окуляр-микрометра, хотя можно применять и объект-микрометр, либо по фотографиям после микрофотографирования и увеличения изображения объектов. Разрешающая способность оптического микроскопа составляет примерно 0,2 мкм. Однако для определения размера частица должна быть не менее 1 мкм, т.к. только в этом случае возможно точное воспроизведение её формы. Для частиц меньших размеров применяют метод счёта. В этом случае по изображению определяют число частиц в образце и по известной массе образца и плотности вещества вычисляют радиус частиц.

Количество и размеры частиц взвешенного вещества определялись с использованием счётной камеры Нажотта и светового микроскопа Nikon Eclipse 80i. В период 2015–2017 гг. было обработано 21 проба озёрной воды, 388 микрофотографий с общим количеством частиц 13283 штуки, что обеспечивало статистическую достоверность полученных результатов. Особенностью в распределении частиц по размерам является увеличение их счётной концентрации с уменьшением радиуса. Распределение частиц по размерам может быть описано функцией типа Юнге

$$N=Ar^{-\gamma}, \quad (1)$$

где  $A$  – нормировочный множитель,  $N$  – концентрация частиц,  $\gamma$  – константа, которая по данным разных исследователей для океанов и морей варьирует от 0,7 до 6 [7].

Для примера на рисунке представлены результаты измерений распределения частиц по размерам в поверхностном слое озера Красиловское в период 2015–2017 гг., а в таблице приведены данные по радиусу и концентрации частиц.

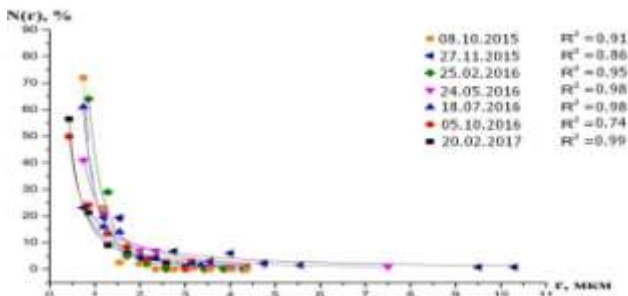


Рис. Распределение частиц взвеси по радиусу в оз. Красиловское

Таблица. Радиус и концентрация частиц взвешенного вещества в поверхностном слое озёр Алтайского края

Озеро	Средневзвешенный радиус частиц, мкм	Счётная концентрация, см <sup>-3</sup>	Дата отбора проб воды
Лапа	0,8	$2,3 \cdot 10^6$	29.08.2015
	1,0	$0,9 \cdot 10^6$	25.11.2015
	0,9	$1,0 \cdot 10^6$	01.12.2015
	0,7	$2,3 \cdot 10^6$	25.01.2016
	0,9	$1,9 \cdot 10^6$	04.05.2016
	1,3	$2,1 \cdot 10^6$	02.08.2016
	1,0	$1,9 \cdot 10^6$	04.10.2016
	1,6	$1,5 \cdot 10^6$	09.02.2017
Красиловское	0,5	$2,2 \cdot 10^6$	08.10.2015
	1,2	$1,4 \cdot 10^6$	27.11.2015
	1,4	$2,2 \cdot 10^6$	25.02.2016
	1,1	$2,1 \cdot 10^6$	24.05.2016
	1,2	$1,9 \cdot 10^6$	18.07.2016
	1,2	$2,3 \cdot 10^6$	05.10.2016
	1,8	$2,0 \cdot 10^6$	20.02.2017
Большое Островное	0,6	$3,6 \cdot 10^6$	21.08.2015
	0,9	$3,3 \cdot 10^6$	09.10.2015
	1,3	$1,1 \cdot 10^6$	17.02.2016
	1,1	$2,7 \cdot 10^6$	27.05.2016
	2,2	$3,4 \cdot 10^6$	04.08.2016
	1,3	$3,1 \cdot 10^6$	14.10.2016

Здесь  $N(r)$  – относительное содержание частиц с радиусом  $r$  в единице объёма, находящихся в интервале  $[r, r \pm \Delta r]$ ,  $R^2$  – коэффициент детерминации. По данным сезонных измерений методом оптической микроскопии размеры частиц в пробах озёр находились преимущественно в пределах 0,5–10 мкм по радиусу. Было получено, что для частиц с диаметром 1–20 мкм погрешность измерения составила 10–18%. При этом коэффи-



циент детерминации находился в диапазоне от 0,74 до 0,99, что говорит об удовлетворительной аппроксимации. В результате получено, что средневзвешенный радиус частиц в поверхностном слое оз. Лапа за исследуемый период составил 1,0 мкм, в озёрах Красиловское и Большое Островное – 1,2 и 1,2 мкм, соответственно. Среднее значение счётной концентрации частиц взвеси в исследуемых озерах за период наблюдений изменялось в пределах от  $0,9 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  до  $3,6 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  и составило порядка  $1,7 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  для оз. Лапа,  $2,0 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  – для оз. Красиловское и  $2,9 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  – для оз. Большое Островное. Результаты измерений размерного состава частиц взвеси исследуемых трёх разнотипных озёр Алтайского края показали, что экспериментальное распределение частиц по размерам можно аппроксимировать функцией типа Юнге, константа  $\gamma$  варьировала в пределах от 1 до 2.

По результатам работы можно сделать следующие **выводы**. Были проведены экспериментальные исследования размерного состава взвешенного вещества в различные сезоны 2015–2017 гг. методом оптической микроскопии. Результаты измерений параметров частиц взвешенного вещества исследуемых разнотипных озёр Алтайского края удовлетворительно аппроксимируются распределением типа Юнге. Также можно отметить, что наибольшее значение средневзвешенного радиуса наблюдается в летний период, наименьшее – зимой, до вскрытия льда.

Авторы выражают благодарность проф. И.А. Суторихину за содействие в работе, к.т.н. О.Б. Акуловой за предоставленные данные и помощь в расчётах.

**Литература.** 1. Верес Ю.К., Егиян А.Л. Взаимосвязь между биогенным составом взвешенного органического вещества пресноводных водоёмов и структурными показателями зоопланктонного сообщества // *Вестник ВДУ*. – 2011. – № 3. 2. Витюк Д.М. Взвешенное вещество и его биогенные компоненты. Киев: Наукова Думка, – 1983. – 212 с. 3. Поздняков Ш.Р. Наносы в реках, озёрах и водохранилищах в расширенном диапазоне размера частиц / Дисс. ... док. г. н. СПб., 2011. – 399 с. 4. Кравчишна М.Д. Вещественный состав водной взвеси Белого моря // Автореф. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М.: – 2007. – 35с. 5. Лисицын А.П. Гидрооптика и взвесь арктических морей / А.П. Лисицын, В.П. Шевченко // *Оптика атмосферы и океана*. – 2000. – Т. 13. – № 1. – С. 70–79. 6. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. – Л., 1983. 7. Власенков Р.Е., Макштас А.П. Исследование пространственно-временных характеристик распределения взвеси в поверхностном слое шельфовых морей Российской Антарктики // *Проблемы Арктики и Антарктики*. – 2012. – № 2(92). – С. 63–71. 8. Ерлов Н.Г. Оптика моря. Л.: Гидрометеиздат, – 1980. – 248 с.

**Реквизиты для справок.** Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодёжная 1, Институт водных и экологических проблем СО РАН, аспиранту **Литвих М.Е.**, E-mail: [litvihmaksim@mail.ru](mailto:litvihmaksim@mail.ru).

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЭА С ПОВТОРНО- КРАТКОВРЕМЕННЫМИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯМИ

ИСМАИЛОВ Т.А., ЕВДУЛОВ Д.В., ГАБИТОВ И.А.

Перспективным для охлаждения элементов РЭА, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений, является метод, основанный на использовании плавящихся рабочих веществ со стабильной температурой плавления и большой величиной теплоты плавления [1]. В работе предложена конструкция системы для охлаждения элементов РЭА с повторно-кратковременными тепловыделениями, реализованная на основе плавящихся в заданном температурном диапазоне рабочих веществ с дополнительным воздушным теплоотводом. На рис.1 представлена структурная схема рассматриваемого устройства [2]. Здесь элементы РЭА 1 размещаются на двух противоположных торцевых поверхностях тонкостенного металлического контейнера 2, заполненного рабочим веществом 3. В направлении, перпендикулярном размещению элементов РЭА, в контейнере имеются каналы 4 для продува воздуха за счет установленных вентиляторных агрегатов 5, один из которых работает на вдув воздушного потока, а другой на выдув. Вентиляторные агрегаты включаются и осуществляют продув воздушного потока по каналу в перерыве функционирования тепловыделяющего элемента. В общем случае канал для продува воздушного потока может быть оребрен.

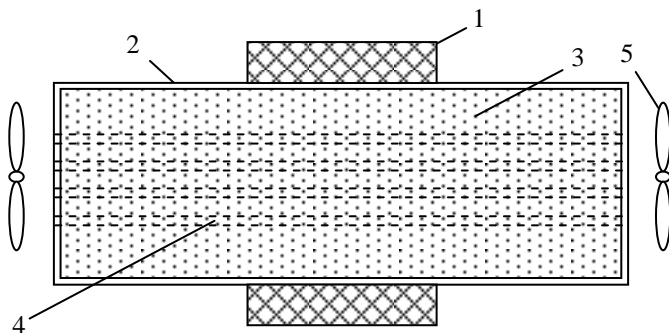


Рис. 1. Конструкция устройства для охлаждения элементов РЭА, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений, основанного на использовании плавящихся рабочих веществ с дополнительным воздушным теплоотводом

На рис. 2 представлены результаты изменения температуры оболочки

$T_{об}$  (торцевой поверхности контейнера, с которой имеет тепловой контакт электронагреватель) в зависимости от времени при плавлении рабочего вещества. Согласно приведенным зависимостям с ростом количества теплоты, подводимого к поверхности емкости в единицу времени (тепловой мощности) увеличивается температура оболочки. Так, увеличение плотности теплового потока от электронагревателя  $q_{РЭА}$  с 1500 до 4500 Вт/м<sup>2</sup> повышает температуру оболочки примерно на 45 °С через 1,5 ч. Соответственно повышается и скорость плавления вещества.

Проведены натурные испытания опытного образца. Результаты исследований представлены в виде графиков зависимостей изменения температуры оболочки контейнера во времени при плавлении и затвердевании рабочего вещества, а также продолжительности полного плавления (затвердевания) рабочего агента от подводимой (отводимой) тепловой мощности.

Согласно рис.3, где приведены данные о продолжительности полного плавления веществ от плотности теплового потока нагревателя, увеличение теплоты рассеяния с 1000 до 6000 Вт/м<sup>2</sup> снижает время полного плавления агентов с 4,7 до 1,1 ч.

На практике это может привести к тому, что при определенных тепловых нагрузках может нарушиться требуемый режим работы элементов РЭА, возникнет риск их выхода из строя. Поэтому указанное обстоятельство следует учитывать при проектировании охлаждающей системы.

На рис.4 приведены данные, полученные при исследовании процесса охлаждения и затвердевания рабочего вещества. Согласно полученным зависимостям применение дополнительного теплоотвода при затвердевании рабочего наполнителя позволяет в значительной степени снизить время «паузы» в работе тепловыделяющего элемента РЭА. Графики показывают, что в рассмотренных случаях за 1 ч температуру поверхности контейнера можно снизить с 317 К до 305 К. При этом без применения дополнительно воздушного теплоотвода за 1 ч температура поверхности контейнера будет составлять соответственно 311 К.

На рис.5 представлены графики зависимости продолжительности полного затвердевания теплового аккумулятора от мощности дополнительной системы теплоотвода  $q_{в}$ . Для сравнения измерены данные, снятые при остывании и затвердевании рабочего вещества при естественном теплообмене с окружающей средой. Для отвода теплоты в этом случае применялся медный ребристый радиатор. Сопоставление опытных данных показывает, что при использовании для интенсификации процесса

затвердевания рабочего вещества дополнительного воздушного тепло-съемка время охлаждения тепловыделяющего элемента до температуры окружающей среды примерно в 1,7 раз меньше, чем при использовании естественного теплообмена.

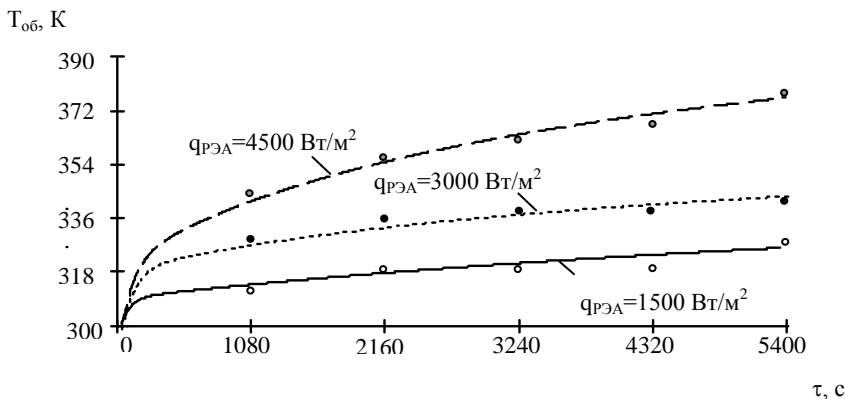


Рис. 2. Зависимость температуры оболочки от времени при плавлении вещества при подводе теплоты к верхней торцевой поверхности контейнера

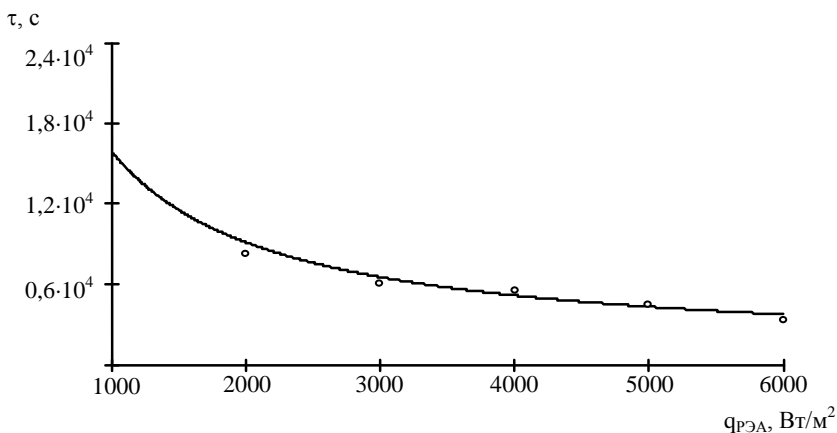


Рис. 3. Зависимость времени полного плавления теплового аккумулятора от мощности тепловыделений элемента РЭА, приходящейся на единицу площади

Указанное обстоятельство позволяет снизить ограничения во времени перерыва в работе циклически работающего элемента РЭА.

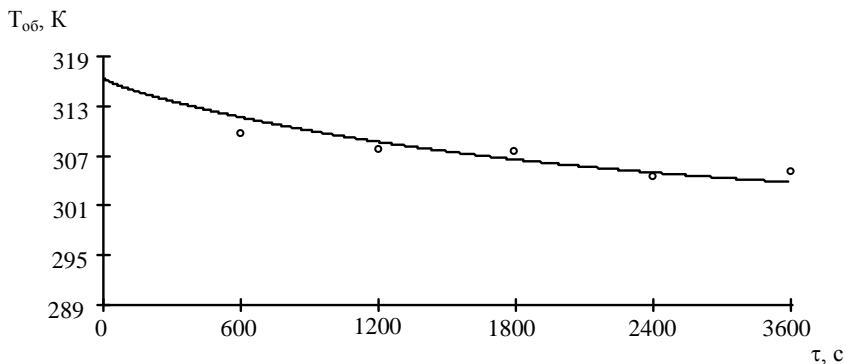


Рис. 4. Зависимость температуры оболочки от времени при затвердевании вещества (вещество – парафин)

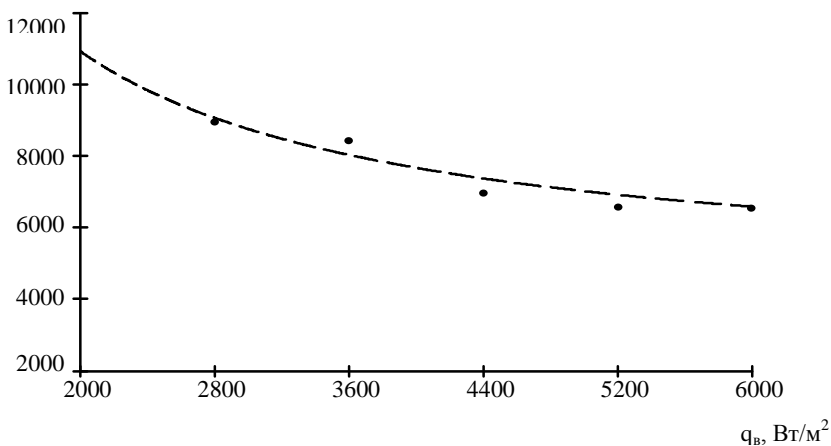


Рис. 5. Зависимость времени полного затвердевания рабочего вещества от мощности дополнительной воздушной системы теплоотвода, приходящейся на единицу площади

**Литература. 1.** Алексеев В.А. Основы проектирования тепловых аккумуляторов космических аппаратов. Курск.: Науком. – 2016. – 248 с.  
**2.** Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В. Системы отвода теплоты от элементов РЭА на базе плавящихся тепловых аккумуляторов // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2015. – № 36. – С. 38-44.

**Реквизиты для справок.** Россия, 367015, Махачкала, пр. Имама Шамиля 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», кафедра теоретической и общей электротехники, к.т.н., старший преподаватель Евдулов Д.В. – 79634051239@yandex.ru, тел. (8722)628269.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ У ЦВЕТОВЫХ КОМПОНЕНТ В ЦВЕТНОМ ИЗОБРАЖЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ КОРРОЗИЙНОГО ПОКРЫТИЯ

УМБЕТОВ С.В., ПРОНИН С.П.

Для диагностики качества металла применяют различные методы неразрушающего контроля. Доминирующим является ультразвуковой метод [1-3]. При этом методы контроля регламентированы, как правило, для новой продукции, которая еще не была в эксплуатации, без коррозии. Для изделий с коррозией метод визуального осмотра предшествует большинству других методов контроля. Ученые Института неразрушающего контроля Томского политехнического университета разработали новый высокопроизводительный метод контроля коррозии металла – тепловизионный. Дистанционная инфракрасная аппаратура фиксирует тепловые аномалии в виде цветных изображений. Оператор, анализируя цветное пятно, может выявить скрытую коррозию.

**Целью работы** является выявление зависимости уровней сигналов у цветовых компонент в цветном изображении металлической поверхности от толщины коррозионного покрытия.

Для эксперимента был выбран лист металла с толщиной 10 мм без коррозии и повреждений. Лист был разделен на пять равных образцов. Первый был оставлен в качестве эталонного. Остальные 4 образца были помещены в агрессивную химическую среду на различные промежутки времени для образования на их поверхности коррозионных повреждений.

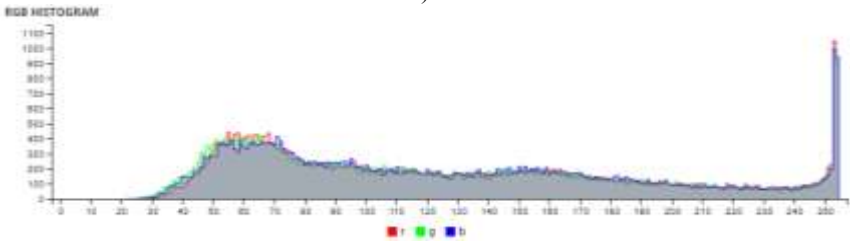
Первый образец находился в агрессивной химической среде 1 неделю, второй образец – 2 недели, третий образец – 3 недели, четвертый образец – 4 недели. После чего для каждого образца были получены оптические изображения.

Запись изображений образцов производили с помощью видеокамеры в одинаковых условиях с соблюдением одинакового расстояния между объективом и исследуемой поверхностью образца при освещении поверхности источником белого цвета. Изображения обрабатывали с помощью разработанного программного обеспечения, которое выделяло RGB – компоненты с кластеризацией по методу k-среднего. По полученным данным для каждого образца строилась гистограмма распределения цвета и для каждой цветовой компоненты определялась медиана.

На рис.1 представлены изображение и гистограммы RGB – компонент первого образца. Как видно на рис.1, при отсутствии коррозии у металла гистограммы наложились друг на друга и почти перекрыли весь диапазон яркостей от 30 до 255 ед. АЦП. Яркое светлое пятно в изображении проявляется на гистограмме в виде узкого (200 – 255 ед. АЦП) и высокого пика.



а)

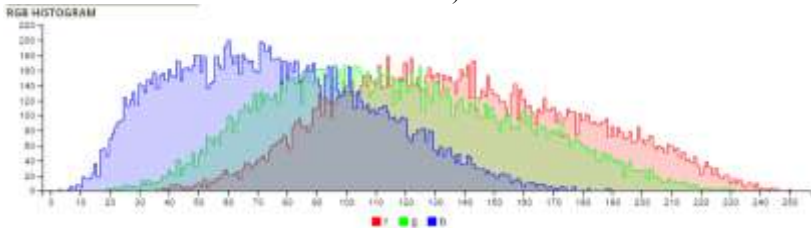


б)

Рис. 1. Изображение (а) и гистограммы цветных компонент первого образца (б)



а)



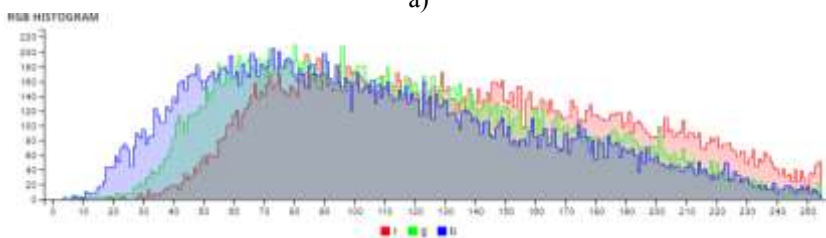
б)

Рис. 2. Изображение (а) и гистограммы цветных компонент второго образца (б)

На рис.2 представлены изображение и гистограммы RGB – компонент второго образца. Как видно из рис. 2, гистограммы существенно «разошлись»: налево синяя компонента, направо – красная, а зеленая – посередине между ними.



а)

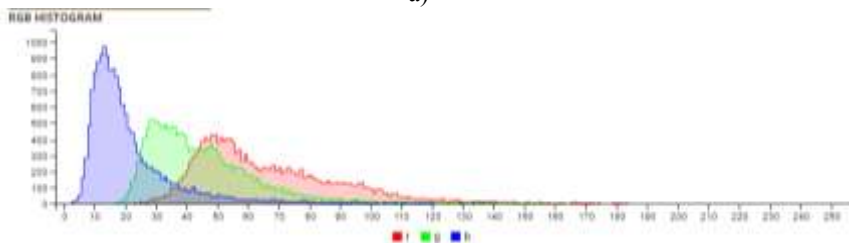


б)

Рис. 3. Изображение (а) и гистограммы цветных компонент третьего образца (б)



а)



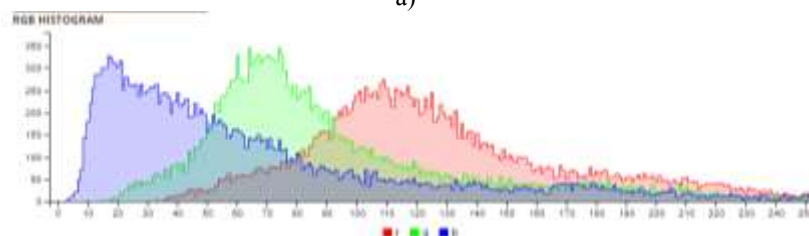
б)

Рис. 4. Изображение (а) и гистограммы цветных компонент четвертого образца (б)





а)



б)

Рис. 5. Изображение (а) и гистограммы цветных компонент пятого образца (б)

По рис. 3,4,5 можно проследить изменения гистограмм цветных компонент при увеличении толщины коррозии на металлической поверхности. При вычислении гистограмм одновременно производили расчет медиан для этих гистограмм. Итоговые цифры представлены в таблице.

Таблица

Образец	R сред	G сред	B сред
№1	127	123	126
№2	136	116	107
№3	123	98	79
№4	98	75	56
№5	67	46	22

На рис. 6 по табличным данным построен график изменения положения медиан в гистограммах цветных компонент в зависимости от образца.

Верхний график соответствует R-компоненте, средний – G-компоненте, нижний – B-компоненте.

**Выводы.** При увеличении коррозионного покрытия на металле положения медиан в гистограммах цветных компонент закономерно сме-

щаются в сторону нулевых уровней. Таким образом, изменение положения медиан гистограмм цветных компонент в изображении металлической поверхности могут служить критерием толщины коррозионного покрытия.

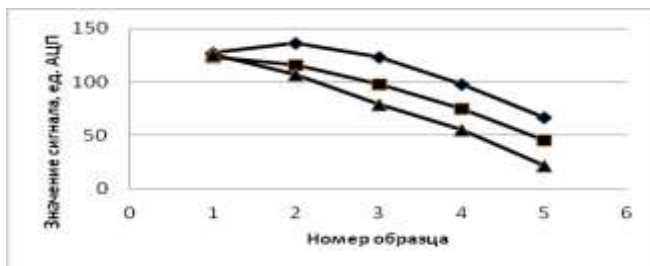


Рис. 6. График изменения положения медиан в гистограммах цветных компонент в зависимости от образца

**Литература:** 1. ГОСТ 12503-75 Сталь. Методы ультразвукового контроля. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1978 – 2 с. 2. ГОСТ 17410 Контроль неразрушающий. Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Методы ультразвуковой дефектоскопии. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 30с. 3. Егоров И.Н., Кадхим Д.А. Применение мобильных роботов при внутритрубной диагностике трубопроводов с переменным поперечным сечением // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2011, № 3 <http://www.ogbus.ru>.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет, доктору технических наук, профессору, Пронину С.П., тел. 8-913-085-96-65. E-mail: [sppronin@mail.ru](mailto:sppronin@mail.ru)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТА ДЖОЗЕФСОНА

КОЛТАКОВА А.Е., РАДЧЕНКО С.Е.

**Введение.** В лаборатории квантовой криогенной электроники НГТУ проводятся эксперименты по исследованию квантовых сверхпроводящих цепей, представленных квантовыми битами на основе сверхпроводящего кольца, разделенного тремя переходами Джозефсона. Явление сверхпроводимости представляет собой проявление квантовых закономерностей в макроскопических масштабах. Одним из таких проявлений является эффект Джозефсона – протекание сверхпроводящего тока через тонкую изолирующую или несверхпроводящую прослойку между двумя сверхпроводниками [1]. Структуры, обладающие такими свойствами, называ-

ют контактами Джозефсона. При протекании небольшого тока через контакт напряжение на нем отсутствует, то есть ток является сверхпроводящим (джозефсоновский ток). Его существование связано с неполным разрушением куперовских пар электронов при их прохождении через несверхпроводящую прослойку. Такой режим называется стационарным Джозефсоновским эффектом [2]. При увеличении тока через контакт и достижении им определенной величины (критического тока) на контакте возникает напряжение. Значение критического тока зависит от свойств контакта, температуры и магнитного поля [3]. В настоящий момент существует ряд задач по исследованию джозефсоновских контактов, актуальность которых обусловлена перспективностью их применения в квантовых вычислительных системах. Ряд проводимых экспериментов предполагает изучение зависимости вольт-амперных характеристик. Классический подход обработки получаемых сигналов, подразумевающий многократное усреднение результатов измерений, приводит к необходимости проведения весьма продолжительных экспериментов.

**Разработка оценок.** Предлагается воспользоваться статистическим характером измерительной информации для сокращения длительности эксперимента и решить задачу определения критического тока перехода Джозефсона как задачу определения параметров его вольт-амперной характеристики. Попытка решить задачу определения критического тока путем синтеза равномерно наиболее мощного алгоритма [4] обнаружения перегиба характеристики не принесла положительных результатов. В связи с этим предложено в первом приближении аппроксимировать вольт-амперную характеристику перехода участками прямых с заданными параметрами. Наличие собственного шума аппаратуры, а также шумов в измерительном тракте приводит к искажению наблюдаемой характеристики. При таком подходе наблюдаемый процесс представляется результатом аддитивного взаимодействия детерминированного сигнала и шума, что отражено на модели получаемого сигнала на рис. 1.

В качестве исходных данных для разработки оценок предлагается взять две выборки на различных участках характеристики: опорную  $\mathbf{x} = \{x_i\}, i = 1, \dots, N$  и рабочую  $\mathbf{y} = \{y_i\}, i = 1, \dots, N$ , где  $N$  – объем выборочного вектора. Совместная плотность распределения вероятности выборочных данных в предположении о гауссовом характере шума имеет вид:

$$w(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \right)^{2N} \exp \left( -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2) + \frac{k_x}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N x_i + \frac{k_y}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N y_i + \frac{b}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N y_i - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N (k_x i)^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N (k_y i + b)^2 \right),$$

где  $\sigma$  – энергетический параметр шума, величина которого является

априорно неопределенной,  $k_x$  – коэффициент наклона сверхпроводящей части характеристики, обусловленный наличием омического сопротивления измерительных линий,  $k_y$  – коэффициент наклона участка характеристики, соответствующего нормальной проводимости контакта,  $b$  – смещение участка нормальной проводимости.

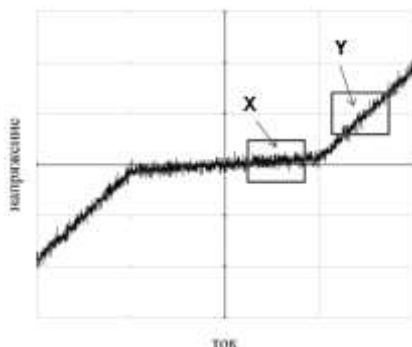


Рис. 1. Модель сигнала, получаемого при измерении вольт-амперной характеристики контакта Джозефсона

В составе данного распределения можно выделить четыре статистики, которые являются полными, согласно критерию факторизации [5]:

$$T_1 = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2), \quad T_2 = \sum_{i=1}^N x_i i, \quad T_3 = \sum_{i=1}^N y_i i, \quad T_4 = \sum_{i=1}^N y_i.$$

На основе следствия теоремы Лемана – Шеффе были получены эффективные оценки параметров  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $b$  с использованием моментов полных достаточных статистик:

$$\hat{k}_x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i i}{g}, \quad \hat{k}_y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i - \frac{N}{f} \sum_{i=1}^N y_i i}{f - N \frac{g}{f}}, \quad \hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{f} - \frac{g}{f} \frac{\sum_{i=1}^N y_i - \frac{N}{f} \sum_{i=1}^N y_i i}{f - N \frac{g}{f}},$$

где  $g = \sum_{i=1}^N i^2$ ,  $f = \sum_{i=1}^N i$ .

**Результаты моделирования.** Моделирование проводилось в среде MathCAD при различных значениях энергетического параметра шума. Для каждого значения было проведено 10000 экспериментов. На рис.2 представлен график среднеквадратического отклонения оценки параметра наклона участка аппроксимации, соответствующего сверхпроводящему состоянию. Наибольшее значение погрешности составило 0,5%.

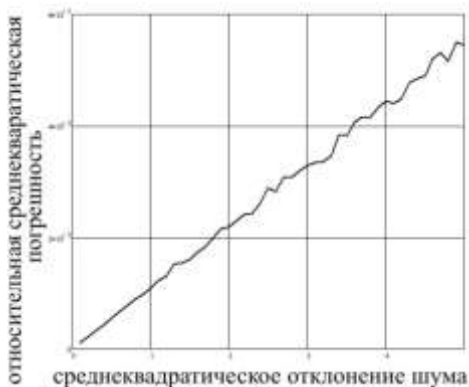


Рис. 2. Относительная среднеквадратическая погрешность оценки параметра наклона сверхпроводящего участка

На рис. 3 представлена зависимость относительного среднеквадратического отклонения оценки параметра наклона участка аппроксимации, соответствующего нормальному (проводящему) состоянию джозефсоновского контакта, от энергетического параметра шума. Видно, что величина погрешности не превышает 0,08%.

На рис.4 представлена экспериментально полученная зависимость погрешности оценки смещения участка нормальной проводимости контакта от среднеквадратического отклонения шума. Максимальное значение наблюдаемой погрешности составило 0.004%.

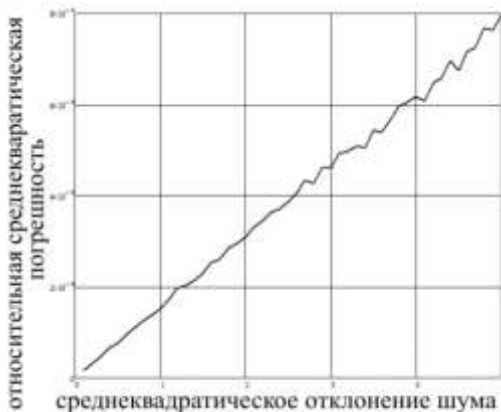


Рис. 3. Относительная среднеквадратическая погрешность оценки параметра наклона участка нормальной проводимости

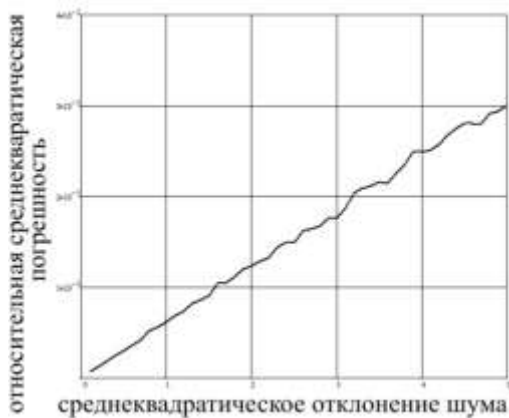


Рис.4. Относительная среднеквадратическая погрешность оценки параметра смещения участка нормальной проводимости

**Обсуждение результатов.** На основе линейной аппроксимации вольт-амперной характеристики контакта Джозефсона разработаны эффективные оценки параметров аппроксимации с использованием полных достаточных статистик. Результаты статистического моделирования позволяют положительным образом характеризовать полученные оценки, подтверждая целесообразность их практического применения.

**Литература.** 1. Гинзбург В.Л. О сверхпроводимости и сверхтекучести. Автобиография. М.: Физматлит, 2006. 2. Ципенюк Ю.М. Физические основы сверхпроводимости. МФТИ, 1996 6с. 3. Josephson B. D., Possible new effects in superconductive tunneling. Phys. Lett., 1962, v. 1, p. 251. 4. Колтакова А. Е., Радченко С.Е. Определение критического тока контакта Джозефсона. Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. с 107. 5. Леман Э. Проверка статистических гипотез. – М.: Наука, 1979. – 408 с.

**Реквизиты для справок:** Россия, 630073, Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20 к.4, Новосибирский Государственный Технический Университет, кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств, к.т.н. Радченко С.Е., R1505@mail.ru, тел. +7-923-183-8077.

# **3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХМИНИАТЮРНОГО ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

ДМИТРИЕВ С.Ф., ИШКОВ А.В., МАЛИКОВ В.Н., ПАХОМОВ И.Е.,  
САГАЛАКОВ А.М., МУРАВЛЕВ К.А., НЕБЫЛИЦА Я.И.

Потребность в совершенствовании и развитии технологии производства полупроводниковых материалов поднимает проблему эффективного контроля их качества.

Производство материалов микроэлектроники требует оснащения промышленности высокоточными методами и средствами измерений, освоения современных методов неразрушающего контроля.

В настоящее время диагностика полупроводниковых пластин производится преимущественно 4-х зондовым методом. У данного метода имеется ряд недостатков.

В основе неразрушающего контроля (НК) методом вихревых токов (МВТ) лежит регистрация изменений электромагнитного поля вихревых токов, наводимых возбуждающей обмоткой вихретокового преобразователя (ВТП) в электропроводящем объекте контроля. Интенсивность и распределение вихревых токов в объекте зависит от его геометрических размеров, электромагнитных параметров и от расположения ВТП и объектов [1].

Преимуществом электромагнитного контроля является возможность проведения измерения без контакта преобразователя и объекта измерения. Их взаимодействие происходит обычно на небольших расстояниях (от долей миллиметра до нескольких миллиметров). Поэтому этим методом можно получать хорошие результаты при движении объектов контроля.

Ещё одно преимущество МВТ – это относительная простота конструкции преобразователя. Катушки помещаются в предохранительный корпус и заливают компаундом. Благодаря этому они устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям, могут работать в агрессивных средах в широком интервале температур и давлений.

**Целью работы** является разработка прибора для электромагнитной диагностики полупроводниковых пластин при помощи вихретокового преобразователя.

На базе Алтайского государственного университета создана экспериментальная установка электромагнитной диагностики полупроводниковых пластин методом вихревых токов. Основной модуль установки – система сбора информации в виде вихретокового датчика.

Система сбора информации служит непосредственно для работы с полупроводниковой пластиной. Именно эта система взаимодействует с объектом измерений.

Для тестирования устройства была произведена серия измерений электропроводности эталонных полупроводников с заранее известным значением электропроводности. Удельная электрическая проводимость использованных образцов была определена при помощи двойного моста Уитстона при температуре  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$  с погрешностью не более 1% 4-х зондовым методом. По эталонным полупроводниковым пластинам с известной удельной проводимостью была построена зависимость отклика от удельной проводимости. На рис.1 представлена зависимость проводимости пластины из арсенида галлия от положения датчика над пластиной.

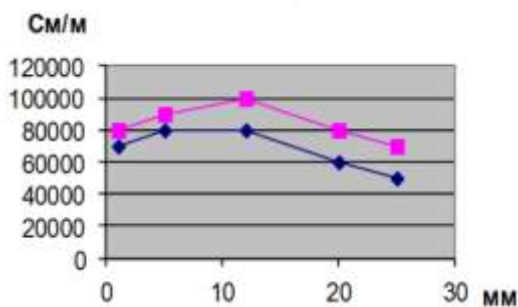


Рис. 1. Диаграмма зависимости отклика от удельной проводимости пластины из арсенида галлия.

На представленном графике заметны существенные изменения проводимости в зависимости от положения датчика над объектом. Это свидетельствует о неоднородности полупроводниковой структуры и, как следствие, о ее низком качестве.

Полученные в ходе исследования результаты измерения электропроводности полупроводников демонстрируют возможности вихретокового метода для контроля качества полупроводниковых материалов. Благодаря высокой локализации магнитного поля удастся получать данные с малых участков полупроводниковых пластин, за счет чего можно делать вывод о распределении примесей в полупроводниках на небольших участках. Таким образом, данный метод открывает широкие возможности для оценки качества полупроводниковых пластин.



**Работа выполнена при поддержке** Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта – 17-48-220044) «Создание и исследование высокоэффективных композиционных и наноструктурированных упрочняющих покрытий».

**Литература. 1.** Дмитриев С.Ф. Виртуализированный измеритель-трансформер / С.Ф. Дмитриев. – Датчики и системы, 2013. – №3(166). – С. 22-26.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Красноармейский, 90, 012*

## **МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ И ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕЖДУ СЛОЯМИ ДВУХСЛОЙНОЙ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРИМЕНЕНИИ ДВУХ ЁМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ УРОВНЯ**

**ЯКШИГИЛЬДИНА Р.И., СТЕПАНОВ А.Б.**

По мере повышения степени автоматизации производственных процессов и современных систем контроля технологических параметров актуальность измерения уровня жидких сред возрастает. В настоящее время существуют более двадцати различных способов измерения уровня жидких сред [1]. Часть из них получили широкое применение в современной промышленности, а другие имеют узкоспециальную область применения из-за присущих им различных недостатков. Как правило, в большинстве практических приложений требуется измерять не только уровень жидкой среды, но и положение границы раздела между слоями, если жидкая среда является многокомпонентной. Важно отметить, что большинство современных подходов для измерения границы раздела двухслойной жидкости оказываются непригодными. В связи с этим возникает задача рассмотрения иных технических решений для измерения уровня и границы раздела двухслойной жидкой среды. В настоящее время широкое применение для измерения уровня жидких сред получили ёмкостные датчики уровня.

**Целью работы** является экспериментальное определение границы раздела между слоями и уровня двухслойной жидкости в резервуаре.

Рассматриваемый метод измерения относительных диэлектрических проницаемостей и положения границы раздела между слоями жидкой среды описывает измерительную систему, состоящую из двух ёмкостных измерительных преобразователей в виде плоских конденсаторов. Принцип действия ёмкостного уровнемера основан на зависимости электрической ёмкости конденсаторного преобразователя образованного, например, при помощи двух пластин, которые введены в измеряемую среду от высоты уровня жидкости [2].

Значение электрической ёмкости конденсатора  $C$  для случая плоскопараллельного расположения измерительных электродов можно определить с помощью следующего математического выражения:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость межэлектродной среды;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $S$  – площадь измерительных электродов конденсатора;  $d$  – расстояние между измерительными электродами конденсатора.

Необходимо отметить, что для ряда технологических процессов положение границы раздела двух слоев жидкости может колебаться относительно некоторого среднего уровня. В этом случае для измерения относительных диэлектрических проницаемостей и положения границы раздела между слоями можно использовать два ёмкостных датчика уровня. Возможное взаимное расположение и геометрические размеры измерительных электродов двух ёмкостных датчиков D1 и D2 изображены на рис. 1. Будем считать, что расстояние между измерительными электродами датчиков равно  $d$ , а ширина и высота измерительного электродов ёмкостных датчиков уровня равны соответственно  $a$  и  $b$  (рис. 1).

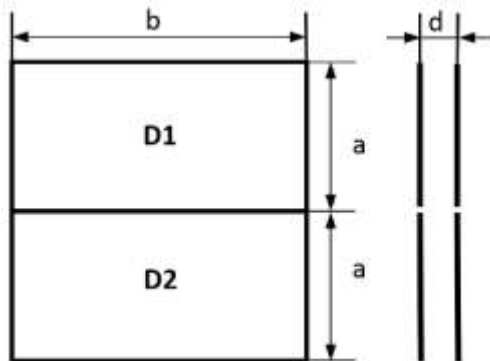


Рис. 1. Расположение и размеры ёмкостных датчиков уровня

Рассмотрим резервуар с двухслойной жидкой средой. При этом будем считать, что двухслойная жидкость занимает полностью весь объём резервуара (рис. 2). Схема размещения датчиков уровня изображена на рис. 2. Относительная диэлектрическая проницаемость верхнего слоя жидкой среды равна  $\varepsilon_1$ , а относительная диэлектрическая проницаемость нижнего слоя жидкой среды равна  $\varepsilon_2$  (рис. 2). Рассмотрим два момента времени  $t_1$  и  $t_2$  (рис. 2). Предположим, что в момент времени  $t_1$  граница раздела двух жидких сред проходит через измерительные электроды датчика D1 (рис. 2).

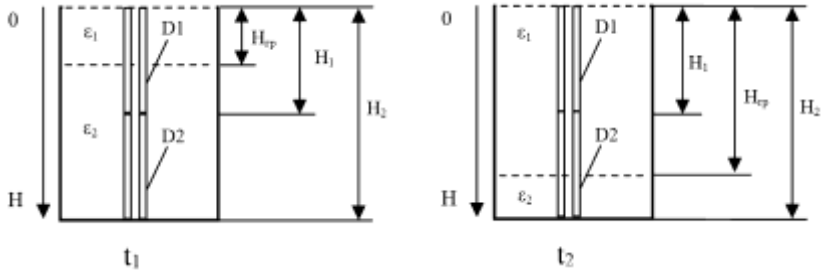


Рис. 2. Резервуар с двумя ёмкостными датчиками уровня

Будем считать, что начало координат находится в верхней граничной плоскости резервуара. При этом будем полагать, что датчик D1 погружен в контролируемую двухслойную жидкую среду на уровень  $H_1$ , датчик D2 на уровень  $H_2$ , а граница раздела двух жидких сред находится на уровне  $H_{ГР}$  (рис. 2). По выражению (1) найдем значение ёмкости для каждого из двух датчиков уровня.

Значение ёмкости датчика D1 в момент времени  $t_1$  запишем в виде:

$$C_1(t_1) = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot b \cdot H_{ГР}(t_1)}{d} + \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b \cdot (H_1 - H_{ГР}(t_1))}{d} \quad (2)$$

Отсюда,

$$H_{ГР}(t_1) = \frac{C_1(t_1) \cdot d - \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b \cdot H_1}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot b - \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b} \quad (3)$$

В момент времени  $t_1$  относительная диэлектрическая проницаемость нижнего слоя может быть измерена следующим образом:

$$\varepsilon_2 = \frac{C_2(t_1) \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot b \cdot (H_2 - H_1)} \quad (4)$$

Значение ёмкости датчика D2 в момент времени  $t_2$  запишем в виде:

$$C_2(t_2) = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot b \cdot (H_{ГР}(t_2) - H_1)}{d} + \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b \cdot (H_2 - H_{ГР}(t_2))}{d} \quad (5)$$

Отсюда

$$H_{ГР}(t_2) = \frac{C_2(t_2) \cdot d + \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot b \cdot H_1 - \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b \cdot H_2}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot b - \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot b} \quad (6)$$

В момент времени  $t_2$  относительная диэлектрическая проницаемость верхнего слоя может быть измерена следующим образом:

$$\varepsilon_1 = \frac{C_1(t_2) \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot b \cdot H_1}. \quad (7)$$

В статье рассмотрен метод измерения относительных диэлектрических проницаемостей слоев и положения границы раздела двухслойной жидкой среды, основанный на применении двух ёмкостных датчиков уровня. Таким образом, в любой момент времени можно найти значения относительных диэлектрических проницаемостей обоих слоев жидкой среды и уровень границы раздела между слоями двухслойной жидкости.

**Литература. 1.** Якшигильдина Р. И. Метод измерения границы раздела между слоями и уровня двухслойной жидкости в резервуаре / Р. И. Якшигильдина, А. Б. Степанов; науч. рук. А. Б. Степанов // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г.: в 3 т. – Томск: Изд-во Томский политехнический университет, 2016. – Т. 1. – 244-247 с. **2.** Якшигильдина Р. И. Метод измерения границы раздела между слоями и уровня двухслойной жидкости в резервуаре / Р. И. Якшигильдина, А. Б. Степанов, А. В. Рюмкин; науч. рук. А. Б. Степанов // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Новосибирск. 5-9 декабря 2016 г.: в 9 т. – Новосибирск: Изд-во Новосибирский государственный технический университет, 2016. – Т.1. 71-73 с.

**Реквизиты для справок:** Россия, 634034, Томск, ул. Вершинина 33-311, студент каф. Физических методов и приборов контроля качества, Томский политехнический университет, Якшигильдиной Р.И., тел. +7 (983) 239-31-32. E-mail: rozochka2705@mail.ru

## **ОСЦИЛЛИСТОРНЫЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ С ЧАСТОТНЫМ ВЫХОДОМ ДЛЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ГЛУБОКОВОДНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ**

ДРОБОТ П.Н.

Температура морской воды является одной из важнейших физических характеристик Мирового океана, влияющих на многие природные и биологические явления и процессы, происходящие в океане и атмосфере Земли. От температуры и солёности воды во многом зависит движение водных масс, существование теплых и холодных течений в океанах и морях. Зная распределение температуры и солёности морской воды на поверхности и глубинах, можно составить специальные карты распределения течений в данном районе. Температура поверхностных вод моря и

воздуха влияет на образование тумана и на взаимодействие океана и атмосферы, на климат и погоду.

С температурой морской воды связано ее замерзание, развитие ледовых явлений на море и обледенение судов, она определяет условия существования рыб и других обитателей моря. От температуры и солёности морской воды зависит ее плотность, которая влияет на осадку морских судов, это учитывается в судовождении. Температура и солёность морской воды влияют на скорость распространения в ней звука. Это следует учитывать при работе с эхолотами и другими гидроакустическими приборами.

Способы измерения океанических температур изменялись и совершенствовались постоянно и всегда соответствовали конкретному уровню развития техники. Например, ранее использовался механический способ с применением глубинного опрокидывающегося ртутного термометра, который в настоящее время широко не используется.

В настоящее время температура водных глубин измеряется с помощью погружных приборов, снабженных комплексом электронной аппаратуры с использованием в качестве первичных преобразователей температуры аналоговых датчиков – термисторов. Широко известны CTD (conductivity-temperature-depth) погружные зонды производства компании Sea-Bird Electronics (США) [1] и аналогичные отечественные разработки, подобные им [2]. Измеряемый параметр depth в аббревиатуре CTD связан с давлением на глубине, поэтому в русском переводе аббревиатуру CTD трактуют как электропроводность – температура – давление.

Погружной зонд, как правило, представляет собой герметичный контейнер, содержащий блок электроники со следующим стандартным набором устройств, обычных для указанных выше систем: адаптер–усилитель аналогового сигнала термистора, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер, источник энергии (блок питания или батарея питания). Зонды работают в автономном режиме с записью информации на внутреннюю электронную память, а также используется кабельный канал для передачи данных из глубины на поверхность или на борт корабля, в компьютер.

Известны осцилляторные датчики температуры с частотным выходом, построенные на зависимости от температуры частоты колебаний тока, возникающих при развитии в специальном полупроводниковом диоде винтовой неустойчивости полупроводниковой плазмы (осцилляторный эффект) [3]. Осцилляторные датчики осуществляют прямое преобразование температуры окружающей среды в частоту и характеризуются высокой амплитудой информационного сигнала. Эти обстоятельства позволяют без предварительного усиления (высокая амплитуда сигнала) и с высокой помехозащищенностью (частотный выход) передавать

сигнал осцилляторного датчика по двухпроводной линии на большие расстояния, до нескольких километров.

В задачах мониторинга, когда необходимо одновременно передавать сигналы от  $N$  осцилляторных датчиков, потребуется  $(N+1)$  – проводный канал связи, поскольку присутствует необходимость одного общего «земляного» провода. Мониторинг  $N$  осцилляторных датчиков можно осуществлять по двухпроводному каналу связи, если предусмотреть возможность переключения датчиков на канал с помощью коммутатора.

Значительного упрощения систем мониторинга, подобных [1,2], можно достичь в случае использования их для передачи информации по телеметрическому каналу связи к удаленному блоку регистрации и обработки информации на базе персонального компьютера. В таких условиях использование первичного преобразователя (датчика) с частотным выходом позволяет существенно упростить схемотехнику и минимизировать удельную стоимость на канал измерения с высокой точностью.

Осцилляторный датчик температуры представляет собой уникальную инновационную разработку, основанную не на схемном решении, а на физическом осцилляторном эффекте.

Осциллятор – это специальный полупроводниковый диод, размещенный в магнитном поле малогабаритных постоянных магнитов, включенный последовательно с резистором нагрузки  $R_H$  и источником питания. Соединительные провода могут достигать нескольких километров без ущерба для работы осциллятора [3,4,5].

Частота осциллятора зависит от ряда внешних физических факторов [6,7], что позволило создать на основе кремниевых осцилляторов опытные образцы и исследовать их характеристики: датчики с частотным выходом магнитной индукции и температуры [8,9,10], генератор ВЧ сигналов,  $RF$ –преобразователь (*resistor-to-frequency*–преобразование) [11].

Полупроводниковая технология изготовления осцилляторных датчиков отличается простотой, поскольку не является интегральной и для их производства не нужно высокотехнологичное производство электронной промышленности, с развитой инфраструктурой и дорогостоящее. При этом отсутствуют проблемы интегральной миниатюризации, отмеченные, например, в работе [12], связанные с одновременным ужесточением противоречащих друг другу требований по габаритным размерам и по стабильности рабочих параметров [12].

Использование вместо термисторов осцилляторных датчиков температуры с частотным выходом для непрерывного, или по запросу, измерения температуры в составе систем [1, 2] позволит: 1) исключить из конструкции погружного зонда блоки усиления, АЦП, микроконтроллера и батареи питания; 2) передавать на поверхность сигнал по той же линии,

по которой с поверхности осуществляется питание осцилляторных датчиков.

Достоинства осцилляторных датчиков с частотным выходом можно обобщить следующим образом: а) прямое преобразование температуры в частоту переменного сигнала; б) хорошая помехозащищенность и возможность без предварительного усиления передавать информацию на расстояние до нескольких километров по проводным линиям, поскольку полезная информация заключена в частоте; в) удобство и высокая точность частотных измерений; г) частотный выход облегчает преобразование информации в цифровой параллельный код и подключения к компьютеру или микропроцессорным устройствам.

Некоторые из этих достоинств присущи и другим датчикам с частотным выходом и высоко оценены как отдельными разработчиками и исследователями, так и ведущими электронными производителями и корпорациями, которые объединились в международную организацию IFSA – International Frequency Sensor Association. WEB-сайт этой организации находится по адресу [www.sensorsportal.com](http://www.sensorsportal.com).

**Литература. 1.** *Sea-Bird Electronics, Inc.* [Электронный ресурс] // Stanford Equipment Co. URL: <http://sequipment.ru/lab/brand.asp?op=2&idf=20&kod=0>. (дата обращения: 14.03.2009). **2.** Дучков А.Д., Казанцев С.А., Дучков А.А. Мониторинг температуры дна озера Байкал // Геология и геофизика. – 2007. – т.48. – №4. – с. 472-480. **3.** V. I. Gaman, P.N. Drobot. Silicon oscillistor as a thermometer with frequency output // Russian Physics Journal. – 1995. – V. 38. – Iss.2. – p.p. 143-146. **4.** V. I. Gaman, P.N. Drobot. Oscillistor sensors with a frequency output based on a silicon structures // International conference on actual problems of electronic instrument engineering proceedings. – 1998. – №1. – p.p. 133-134. **5.** В.И. Гаман, П.Н. Дробот. Термочувствительный элемент с частотным выходом на основе кремниевого осциллятора // Известия высших учебных заведений. Физика. 1995. – № 2. – С. 48-53. **6.** В.И. Гаман, П.Н. Дробот. Пороговая частота винтовой неустойчивости электронно-дырочной плазмы в кремниевых осцилляторах // Известия высших учебных заведений. Физика. 2001. – № 11. – С. 39-44. **7.** В.И. Гаман, П.Н. Дробот. Пороговые характеристики кремниевых осцилляторов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2001. – № 1. – С. 44-49. **8.** П. Н. Дробот и др. (СССР). А.с. 1686940 СССР МПК G01 R33/06 Датчик магнитной индукции с частотным выходом. 4788942/21; заявлено 05.02.90; опубл. 15.12.93, Бюл. № 45-46. **9.** П. Н. Дробот и др. Пат. 1686940 Российская Федерация, МПК G01 R33/06. Датчик магнитной индукции с частотным выходом, заявитель и патентообладатель Сибирский физико-технический институт. Опубл. 15.12.93. Бюл. № 45-46. **10.** П. Н. Дробот и др. Свидетельство на полезную модель № 974 Российская Федерация, МПК G01K07/00. Датчик температуры с

частотным выходом – 5056505/10, заявлено 04.06.1992. Заявитель и патентообладатель Сибирский физико-технический институт. Оpubл. 16.10.1995. Бюл. № 10. **11.** P.N. Drobot. Oscillistor RF-converter resistance to frequency // Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2016 13th International Scientific-Technical Conference, 2016, pp. 1-1. **12.** А.В. Косых, С.А. Завьялов, К.В. Мурасов. Моделирование полупроводникового датчика температуры, используемого в интегральных системах температурной стабилизации частоты источников опорных колебаний. // Ползуновский вестник .– 2011 .– № 3/1 .– С. 43 – 47.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 40, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кандидату физико-математических наук, доценту Дробот П.Н., тел. (382-2) 70-17-37. E-mail:dpn7@mail.ru*

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ СПЛАВОВ**

**МАЛИКОВ В.Н.**

Вопросы дефектоскопии занимают важное место в современной прикладной физике и индустрии. Титан и его соединения в больших объемах применяются в авиационной технике, судостроении, химической промышленности, в ответственных узлах различных механизмов. Технический титан используется для производства изделий, предназначенных для работы в агрессивных условиях. Некачественные сварные швы титана могут привести к разрушению изделий, изготовленных из этого материала. Сплавы Al-Mg применяются в качестве конструкционных материалов в авиации и космонавтике благодаря удачному сочетанию прочности и легкости. Данные сплавы применяются при производстве скоростных поездов (например, поездов Синкансэн(Япония)) и во многих других отраслях машиностроения. Сплавы Al-Mg применяются в электротехнической, в химической и пищевой промышленности.

В настоящее время развиваются экспериментальные методы с использованием двух вихретоковых преобразователей, работающих в дифференциальном режиме[1]. Подобные схемы включения позволяют значительно уменьшить уровень паразитных шумов, возникающих при скоростном сканировании в реальном времени.

В этой связи возникает задача разработки сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей, обеспечивающих глубину проникновения до 5 мм и локализацию в 2500 мкм<sup>2</sup>. Так как вихретоковый метод контроля нечувствителен к непроводящим слоям краски, то его можно использовать и для диагностики деталей с лакокрасочными покрытиями.



Конструкция измерительной системы включает в себя два дифференциально включенных сверхминиатюрных преобразователя, обеспечивающих высокую локализацию магнитного поля (в пределах  $2500 \text{ мкм}^2$ ). Миниатюрные размеры и особая форма сердечника позволяют определять локальную электропроводность материалов в сильно неоднородных средах. В частности, разработанный датчик позволяет отыскивать микроскопические дефекты в неоднородных материалах на глубине до 5 мм благодаря миниатюрным размерам и особой форме сердечников.

Вихретоковый преобразователь (рис. 1), представляет собой трансформатор, с измерительной 1, возбуждающей 2, компенсационной 3 обмотками и магнитопроводом 4, который размещается внутри цилиндрической платформы 5, с вырезанными по внешней стороне дорожками для обмоток, которая затем пропитывается компаундом 6 при температуре  $200^\circ\text{C}$ , для предотвращения разрушения обмоток при наложении ферритового экрана 7, предназначенного для локализации электромагнитного поля на объекте контроля. Снаружи датчик заключается в корундовую шайбу 8, которая защищает сердечник 4 от контакта с объектом контроля.

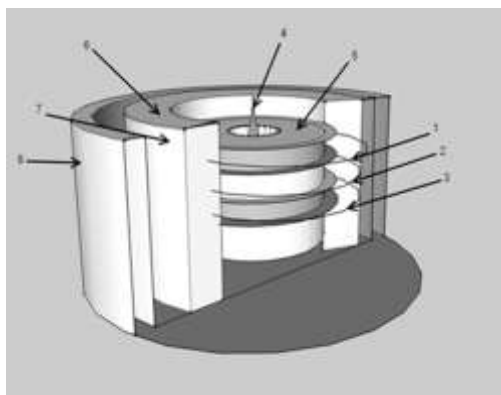


Рис. 1. Схема вихретокового преобразователя

### **Сканирование сварных швов титановых сплавов.**

С целью демонстрации работоспособности предлагаемого устройства для определения качества сварных швов титановых сплавов проводилась серия измерений на образцах, представляющих из себя пластины из технического титана марки ВТ1-0, соединенные с помощью сварных швов. Толщина пластин составляла 5 мм. Ширина сварного шва составляла 5 мм.

С целью определения однородности сварного шва осуществлялось сканирование образцов вдоль поверхности сварного шва. При этом существенного изменения амплитуды сигнала не обнаружено. Результаты экс-

перимента свидетельствуют в пользу относительно однородной структуры сварного шва, но не несут информации о качестве самого шва. Из результатов данного эксперимента можно лишь заключить о равномерном распределении дефектов сварного шва или о его бездефектности.

В следующем эксперименте сканирование осуществлялось поперек сварного шва. Длина сварного шва составляла 150 мм. Шов был разбит на 30 областей по 5 мм в каждой из 30 областей так, чтобы снять сигнал как с самого шва, так и непосредственно с пластин. Полученные зависимости усреднялись. Результаты эксперимента представлены на рис.2а, б.

В образце №1 влияние некачественного сварного шва на вносимое напряжение явно прослеживается по значительному падению амплитуды сигнала в области сварного шва по сравнению с областью пластин.

На основании проведенного эксперимента сделан вывод о низком качестве сварного шва образца №1. Низкое качество сварки было подтверждено и непосредственно при разрезании сварного шва. Сканирование образца №2 показало отсутствие отклонений амплитуды сигнала в пределах сварного шва. Разрезание сварного шва образца №2 показало высокое качество сварки.

#### **Сканирование сплава алюминий-магний с модельными дефектами.**

С целью оценки максимальной глубины залегания и линейных размеров дефектов, для нахождения которых целесообразно использовать вихредовый метод контроля, были подготовлены образцы с модельными дефектами.

Образцы представляли из себя пластины из сплава Al-Mg(Al-94%, Mg-3%). Толщина первой пластины составляла 5.5 мм. В пластине содержалось 3 дефекта в виде прорези толщиной в 1 мм, залегающих на глубине 1, 3 и 4 мм. Толщина второй пластины составляла 5.5 мм. В пластине содержалось 6 дефектов в виде прорези толщиной в 0.25 мм, залегающих на глубине 1, 2, 3, 4, 5 и 5.3 мм.

С целью определения чувствительности датчика к дефектам, залегающим в глубине металла, осуществлялось сканирование с бездефектной стороны образца.

При проведении экспериментов с первой пластиной величина вносимого напряжения на возбуждающую обмотку преобразователя составляла 2 В.

Результаты исследований первой пластины с дефектами, имеющими толщину 1 мм, при частоте 500 Гц и амплитуде сигнала в 2 В позволили явно обнаружить все 3 прорези по падению амплитуды сигнала (рис.3). Падение амплитуды сигнала на первом дефекте составляла величину порядка 0.75 В, на втором – 0.2 В, на третьем – 0.1 В.

Результаты исследования второй пластины при частоте 500 Гц и амплитуде сигнала 3 В позволили обнаружить пять дефектов (рис.4,а). Падение амплитуды сигнала на первом дефекте составляло 2.5 В, на втором дефекте – 1 В, на третьем дефекте – 0.4 В, на четвертом – 0.2 В, на пятом – 0.1 В. Изменения отклика сигнала при прохождении над шестым дефектом не зафиксировано в силу его малой величины. Рис. 4,б показывает целесообразность использования системы усилителей и полосовых фильтров при поиске дефектов глубокого залегания. Дефекты, лежащие на глубине 3 мм и более, практически незаметны на фоне помех.

Результаты эксперимента показывают эффективность разработанной измерительной системы для поиска дефектов толщиной от 0,25 мм, залегающих на глубине до 5 мм.

**Работа выполнена при поддержке** Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта – 17-48-220044) «Создание и исследование высокоэффективных композиционных и наноструктурированных упрочняющих покрытий».

**Литература. 1.** Дмитриев С.Ф. Сверхминиатюрные токовихревые преобразователи для исследования переходов металл-диэлектрик / С.Ф. Дмитриев. – Приборы и техника эксперимента, 2014. – №6. – С. 102-106.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Красноармейский, 90, 012*

## **СВЕРХМИНИАТЮРНЫЕ ВИХРЕТОКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ**

**ДМИТРИЕВ С.Ф., ИШКОВ А.В., КАТАСОНОВ А.О., МАЛИКОВ В.Н.,  
ЖДАНОВ И.А., ТКАЧЕВ В.В., МУРАВЛЕВ К.А.**

В современной промышленности огромное внимание уделяется повышению надежности деталей и увеличению срока их службы. Укрепление деталей и узлов машин, повышение их надежности и увеличение срока службы является актуальной задачей современного машиностроения. Существует два различных подхода к решению данного вопроса: применение высокопрочных и износостойких материалов и обработка существующих традиционных материалов, позволяющая значительно увеличить прочность и другие характеристики полученных деталей [1]. При обработке материалов с целью улучшения эксплуатационных характеристик деталей, важное место занимает получение и исследование износостойких покрытий, пригодных для применения в подвижных сопряжениях и рабочих органах машин.

В настоящее время наибольшее распространение получило упрочнение деталей путём индукционной наплавки твердых сплавов и белых чу-

гунов. Однако результаты проведенных испытаний показывают, что наиболее перспективным классом материалов, обладающим максимальной эрозийной стойкостью, являются твердые ( $H > 10$  ГПа) покрытия, изготовленные на основе карбидов металлов. Однако к числу факторов, влияющих на эрозийную стойкость, относится толщина нанесенного покрытия, режимы его осаждения и качество предварительной подготовки поверхности. Так, например, для титанового сплава снижение толщины покрытия до значения, меньшего 15 мкм, приводило к значительному снижению эрозийной стойкости.

В качестве перспективных материалов для защитно-упрочняющих покрытий предлагаются композиты на основе матрицы тройной системы Fe-B-Fe<sub>n</sub>B, образующейся непосредственно на поверхности упрочняемой детали при ее борировании в условиях ТВЧ-нагрева из шихты оригинального состава и различных функциональных наполнителей.

Покрытия тройной системы Fe-B-Fe<sub>n</sub>B образуются при ТВЧ-нагреве на поверхности упрочняемой детали при прохождении экзотермической топохимической реакции между железом стали и боросодержащей шихтой. Взаимодействие захватывает поверхностный слой материала-основы, а продукты реакции составляют с ним одно целое и характеризуются плавным изменением химического состава при переходе границы раздела «основа-покрытие», что определяет их высокую адгезию, прочность и износостойкость, специальные свойства.

В качестве основных объектов исследования в работе были выбраны стали 65Г и 50ХГА, износостойкие боридные покрытия тройной системы Fe-B-Fe<sub>n</sub>B на которых исследовались методами электронной растровой микроскопии (РЭМ Philips SEM 515) и вихретоковыми неразрушающими методами (ВДДС-5).

Исследованные составы 3, 4-х компонентных борлирующих смесей наносились на образцы сталей 65Г, 50ХГА в виде обмазок на жидком стекле, гидролизованном этилсиликате или полимерной основе для осуществления борирования с использованием ТВЧ-нагрева.

Были обнаружены 4 основных типа структур износостойкого боридного покрытия, образующегося с использованием ТВЧ-нагрева: I – в виде железо-боридной эвтектики с замкнутыми карбидными областями, II – покрытие, состоящее из кристаллов борида марганца, в виде пластин, расположенных в более мягкой матрице из ледебуритоподобной железо-боридной эвтектики, III – структура в виде железо-боридной эвтектики с крупными зёрнами, и IV – покрытие, состоящее из игольчатых кристаллов борида марганца или хрома, расположенных в более мягкой матрице из ледебуритоподобной железо-боридной эвтектики.

На рис. 1 представлены результаты исследования покрытий, полученных с использованием вихретокового метода. Сканирование образца осуществлялось с помощью двух дифференциально включенных датчиков.

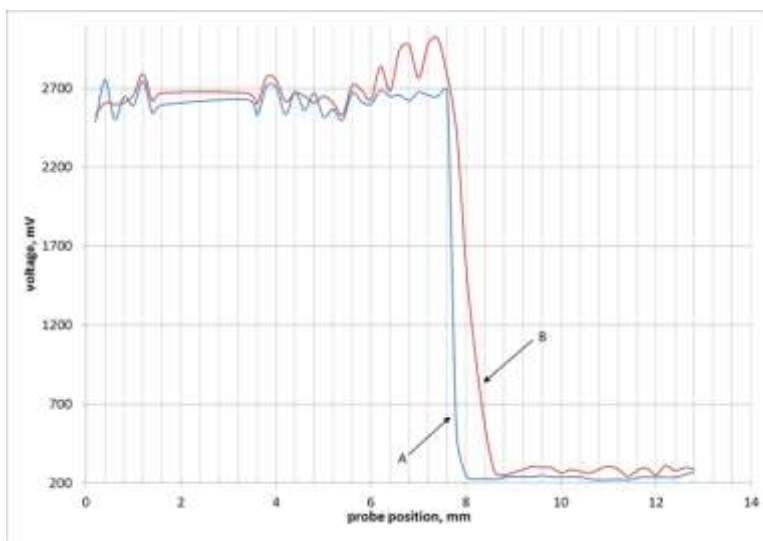


Рис. 1. Результаты исследований упрочненных и неупрочненных деталей с использованием вихретокового метода контроля

Была установлена явная связь электромагнитных и прочностных характеристик покрытия. При сканировании образца без покрытия скорость падения амплитуды сигнала, несущего информацию о свойствах вещества, заметно превышала скорость падения сигнала при сканировании образца с покрытиями. Сравнение результатов тестирования показывает наличие зависимостей между электромагнитными характеристиками и износостойкостью покрытий.

Увеличение износостойкости упрочнённых слоёв при увеличении времени ТВЧ-нагрева у состава 2 объясняется уменьшением твёрдости основной упрочняющей фазы. Это позволяет утверждать, что характеристики боридных покрытий, получаемых на конструкционных и легированных сталях с использованием ТВЧ-нагрева, изменяются не монотонно, а имеют некий оптимум в своих зависимостях от времени. Для контроля данных характеристик целесообразно использовать неразрушающие вихретоковые методы, позволяющие оперативно исследовать получаемые покрытия и сделать вывод об их качестве.

**Работа выполнена при поддержке** Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта – 17-48-220044) «Создание и исследование

дование высокоэффективных композиционных и наноструктурированных упрочняющих покрытий».

**Литература. 1.** Ишков А.В. Особенности изнашивания деталей сельхозмашин, упрочненных композиционными боридными покрытиями Fe<sub>2</sub>N-Fe<sub>2</sub>B: / А.В. Ишков. – Трение и износ, 2015. – №36(2). – С. 174-180.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Красноармейский, 90, 012.*

## **ТРЕБОВАНИЯ К АРМ СПЕЦИАЛИСТА ПО ПЛАНИРОВАНИЮ И КОНТРОЛЮ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА РАБОТ СЛОЖНЫХ ПРОЕКТОВ**

АСТАХОВА А.В.

Современные методы управления проектами больших систем предоставляют возможность использования компьютерных информационных технологий на всех стадиях и этапах реализации проектов в любой прикладной области, том числе, – в области информационных технологий и систем. При этом опыт разработки современных IT-проектов в разных странах показывает, что внедряются лишь треть из разрабатываемых проектов, четвертая часть всех IT-проектов терпит провал, остальные используются на практике, имея значительные недоработки. Сказанное свидетельствует об актуальности задачи минимизации рисков больших, в том числе, IT-проектов, путем автоматизации разработки планов-графиков комплексов работ и соответствующих им планов ресурсного обеспечения с последующим оперативным контролем хода выполнения планов и своевременной их актуализацией. Как показывает опыт научно-педагогической деятельности автора данной статьи, приобретение навыков в решении задач автоматизированного планирования и контроля реализации комплекса работ сложных проектов должно осуществляться еще на этапе вузовской подготовки студентов большинства технических и экономических специальностей и профилей подготовки [1]. При этом студенты должны работать в компьютерных классах, используя, как и специалисты на практике, соответствующие автоматизированные рабочие места (АРМ) специалиста, реализованные на интуитивно понятном подмножестве профессионального языка пользователя, встроенного в эффективный интерфейс, не содержащий избыточных процедур. Это способствует приобретению навыков по принятию обоснованных решений по разработке графиков работ в рамках системы управления соответствующей предметной областью. Актуальность названной задачи в настоящее время возрастает в связи с политикой перехода на разработку и использование в России отечественного программного обеспечения.

Для формирования плана-графика комплекса работ при выполнении больших и сложных проектов целесообразно использовать метод и соответствующие ему модели сетевого планирования и управления (СПУ) [2]. Основой СПУ является моделирование процесса реализации проекта с помощью сетевого графика (СГ) комплекса работ. При этом руководители проекта получают следующие основные возможности:

- рассчитывать резервы времени событий  $i$  и работ  $(i, j)$  СГ, а также объемы соответствующих планируемых ресурсов (трудовых, материальных, финансовых и других), используя их как для формирования расписания реализации комплекса работ, так и для оптимизации параметров модели;
- осуществлять контроль и регулирование выполнения работ по методу «критического пути», используя принципы обратной связи и прогнозирования, с целью предкомпенсации их срывов на этапе реализации плана [3];
- повышать эффективность управления проектом в целом при рациональном распределении обязанностей и ответственности между исполнителями работ и руководителями всех эшелонов, задействованными в реализации проекта.

Результаты расчетов параметров СГ при построении модели являются основополагающими для принятия решений экспертами при анализе и оптимизации построенного плана-графика. Это такие основные параметры модели как: ранний срок  $t_p(j)$  свершения последующего события  $j$ ; предельный (поздний) срок  $t_n(i)$  свершения предшествующего события  $i$ ; резерв времени  $R(i)$  события  $i$ ; ранний срок окончания  $t_{po}(i,j)$  и поздний срок начала  $t_{nn}(i,j)$  работы  $(i,j)$ ; полный резерв времени  $R_n(i,j)$ , показывающий, на сколько можно увеличить время выполнения данной работы без изменения срока выполнения всего комплекса работ; свободный резерв времени  $R_c(i,j)$ , который может образоваться при выполнении работы, располагающей подвижными средствами; длительность критического пути и его топология. Значения данных параметров сетевой модели наряду с показателями использования ресурсов должны быть доступны для пользователя в соответствующих диалоговых окнах программного комплекса АРМ.

Помимо названных параметров пользователю СГ целесообразно предоставлять результаты расчета коэффициентов напряженности работ [3, с. 317-318], что позволяет дополнительно разделить работы на «зоны: критическую, подкритическую и резервную». Очевидно, что в первую очередь при анализе построенного СГ, его оптимизации и корректировке по результатам мониторинга выполнения плана следует обратить внимание на две первые из названных зон.

Следует отметить, что известный программный продукт Microsoft Office Project, используемый, в частности, в учебном процессе вузов, оставляет «за кадром» результаты многих расчетов. Так, для событий на диаграмме Ганта автоматически назначаются даты по принципу ранних сроков

свершения этих событий, а для изменения этих дат пользователь не располагает всей системой параметров сетевой модели. На сетевом графике пользователю также предоставляются лишь вычисленные даты начала и окончания работ. Самые важные параметры модели о резервах работ либо не все рассчитываются, либо не выдаются на экран. Нет сведений о расчете коэффициентов напряженности работ, выделения критических и подкритических зон СГ.

Любое расписание может быть оптимизировано или хотя бы улучшено как после его составления, так и по результатам контроля реализации проекта. Возможны три основных варианта задач комплексной оптимизации, позволяющих найти рациональное соотношение величин стоимости и сроков выполнения комплекса работ СГ в зависимости от выбранного показателя эффективности:

- если время выполнения комплекса работ превышает плановое значение, то встает задача: какие дополнительные средства и в какие работы следует вложить, чтобы общий срок выполнения комплекса работ был не больше запланированной величины, и чтобы при этом общая сумма дополнительных вложений была бы минимальной;

- если время выполнения комплекса работ желательно уменьшить и не планируется вложение в работы дополнительных средств, ставится задача перераспределения имеющихся подвижных средств между работами таким образом, чтобы срок выполнения комплекса был минимальным;

- если время выполнения комплекса работ меньше планового значения, то возникает задача снижения темпов выполнения работ: требуется определить, на какое время следует задержать выполнение каждой работы, чтобы срок выполнения комплекса был выдержан, а экономия средств получилась бы максимальной.

Представляется, что для оптимизации сетевого графика работ можно использовать и эвристические методы, учитывающие индивидуальные свойства СГ, однако одним из необходимых условий решения задачи автоматизированным путем в этом случае также является предоставление пользователю всей необходимой для анализа и принятия решений информации.

Можно отметить, что в типовой программе Microsoft Office Project автоматизирован подход к улучшению СГ в виде решения задачи частной оптимизации ресурсов, что на практике приемлемо далеко не для всех предметных областей и не во всех ситуациях, с которыми сталкиваются управленческие работники. Данная задача оптимизации аналогична второй из вышеназванных задач, однако, о выявлении подвижных средств в явном виде в названной программе, к сожалению, речи не идет.

Принятие плановых управленческих решений осуществляется в условиях недостаточно определенной информации о состоянии соответствующей предметной области на рассматриваемом горизонте планирования. В



этой связи, фактическая реализация планов приводит к отклонениям учетных параметров СГ (показателей предметной области) от плановых, – как по срокам выполнения, так и по использованию ресурсов. Возникает необходимость решения задач оперативного учета соответствующих фактических показателей; контроля их отклонений (как положительных, так и отрицательных) от плановых показателей и принятия решений по корректировке исполняемого плана. Следует заметить, что, например, в MS Project, пользователь может задать программе не сами показатели, а только процент фактического выполнения объемов запланированных работ.

В рамках АРМ корректировка плана должна осуществляться с учетом принятия решений пользователем путем сдвига на графике работ, оставшихся на оси времени впереди выполненной работы, на более поздние или более ранние сроки. В результате чего длина критического пути может соответственно увеличиться или уменьшиться.

Для многих проектов (особенно это относится к области строительства крупных сооружений) трудоемкость выполнения работ и стоимость ресурсов, требующихся для выполнения работ, не связаны прямой пропорциональной зависимостью, как в некоторых ИТ-проектах; методики расчета стоимости ресурсов для каждой предметной области имеют свою специфику; при реализации больших проектов цены ресурсов могут измениться. Учет названных факторов требует также отражения в алгоритмах задачах планирования СГ, учета, контроля в рамках АРМ специалистов.

Обобщая изложенное выше, можно отметить, что описанные выше основные требования к планированию и контролю реализации планов для сложных проектов являются ядром технического задания на проектирование соответствующего типового [4] АРМ специалиста по управлению производственными процессами, реализующими сложные комплексы взаимосвязанных работ, с учетом принятых на практике методик расчета стоимости работ. Реализация названных требований к разработке программных продуктов отвечает принципу системного подхода к автоматизации управления, а внедрение таких АРМ, приводя к сокращению трудоемкости формирования эффективных графиков реализации и последующего контроля исполнения проектов, способствует выработке у специалистов позитивного отношения к автоматизации управления в целом.

**Литература. 1.** Астахова А.В., Бондаренко С.А., Кочетова Ю.Ю. и др. Модернизация высшей школы: организационно-педагогические и методические проблемы [Текст]: монография / отв. ред. Т.Ф. Кряклина. – Барнаул: Изд-во ААЭП. – 2014. **2.** Исследование операций в экономике: Учебн. пособие для вузов / Н.Ш. Кремер, Б.А. Прутко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – С. 286-332. **3.** Астахова А.В. Информационные системы в экономике и защита информации на предприятиях – участниках ВЭД: Учебное пособие. – СПб.: Троицкий мост, 2014. –

С. 73-83. 4. Астахова А.В., Кантор С.А. Типовое проектирование информационных систем: возможности и проблемы: В сборнике: Измерение, контроль, информатизация: Материалы седьмой Международной научно-технической конференции. 2006. С. 5-12.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, Ленина 46, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», кафедра прикладной математики, кандидату экономических наук, профессору кафедры Астаховой А.В., 9132120253. E-mail: pfad\_ava@mail.ru.

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ НА ЁМКОСТЬ ПРОВОДА**

РЮМКИН А.В., ВАВИЛОВА Г.В.

Кабельные изделия, в частности провода – это различные изолированные электрические проводники, которые служат для передачи или преобразования электроэнергии. Они применяются для направления потока электрической энергии и сигналов информации, широко используются в элементах электротехники и электроники [1]. Электрический провод – кабельное изделие, содержащее одну или более изолированных жил, поверх которых может иметься легкая неметаллическая оболочка – изоляция [2].

Одной из основных нормируемых величин, определяющих качество кабелей связи, является его ёмкость  $C$ , Ф. Электроёмкость – физическая величина, численно равная заряду, который необходимо сообщить проводнику для того, чтобы изменить его потенциал на единицу [3].

Согласно ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» [4]: Дефект – каждое несоответствие продукции установленным требованиям.

На значение ёмкости влияет множество параметров, в том числе и изменение геометрических размеров провода. Наличие локальных дефектов в изоляции приводит к изменению геометрических размеров провода и электрических характеристик изоляции, а, следовательно, к резкому изменению значения ёмкости контролируемого провода, в зависимости от формы и размера дефекта.

**Цель работы:** определить влияние частоты и размеров дефекта на значение ёмкости провода.

Выходной контроль осуществляется по требованиям ГОСТ 27893-88 «Кабели связи. Методы испытаний» [5], который регламентирует использование образца провода длиной не менее 5 м. Измерения ёмкости проводятся при рабочей частоте 800 Гц.

В данной работе исследование проводилось путем численного моделирования, опираясь на методику измерения ёмкости в соответствии с ГОСТ 27893-88.

Исследуемый провод представляет собой цилиндрический конденсатор, одной обкладкой которого является токопроводящая жила, а другой – вода. Изоляция провода – диэлектрик [6].

Модель провода показана на рис. 1.

Для модели провода выбраны следующие материалы:

жила провода – медь с удельной электропроводностью  $\sigma = 5,998 \cdot 10^7$  См/м;

Изоляции провода – поливинилхлорид с характеристиками:

– Относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 2,9$ ;

– Удельная электропроводность  $\sigma = 10^{-12}$  См/м.

Вторая обкладка конденсатора – дистиллированная вода:

– Относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 81$ ;

– Удельная электропроводность  $\sigma = 10^{-4}$  См/м.

В ходе эксперимента моделировался дефект – сдир изоляции по всему диаметру провода, в диапазоне изменения длины дефекта от 0,1 до 3 мм.

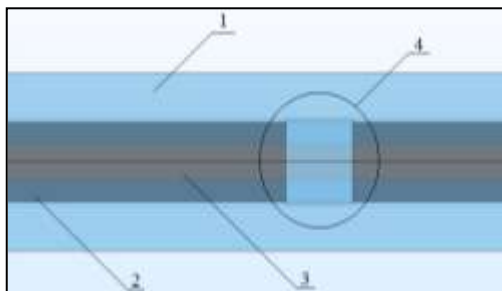


Рис. 1. Модель провода

- 1) Дистиллированная вода; 2) Изоляция провода; 3) Жила провода;
- 4) Дефект – сдир изоляции провода, размер дефекта – 3 мм

При экспериментальных исследованиях было замечено, что рекомендуемая ГОСТ 27893-88 частота не позволяет обнаруживать видимые дефекты (от 0,05 мм). В связи с этим возникла необходимость исследовать измерение ёмкости на различных частотах (20...50000 Гц). На рис. 2 приведены результаты исследований на частотах 0,8; 10; 50 кГц.

Анализ результатов показывает, что на частоте 800 Гц, при размере дефекта 3 мм, изменение ёмкости 1,29%, на других частотах – от 54,82 до 100,62%. Следовательно, рекомендуемая ГОСТ 27893-88 частота не является достаточной даже для обнаружения видимых дефектов. Проведенные нами исследования показывают, что следует использовать частоты от 10 до 50 кГц.

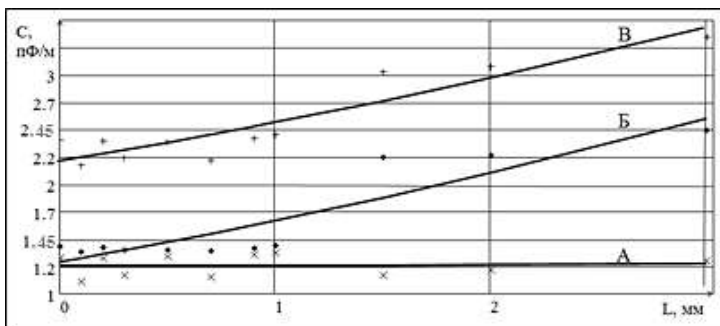


Рис. 2. Изменение электроёмкости в зависимости от размера дефекта при частоте А)  $f=0,8$  кГц; Б)  $f=10$  кГц; В)  $f=50$  кГц.

**Вывод.** Показано, что частота 800 Гц, рекомендуемая ГОСТ 27893-88, не является оптимальным вариантом для обнаружения дефектов по изменению емкости. Для обнаружения даже видимых дефектов по изменению емкости необходимо использовать частоты от 10 до 50 кГц.

**Литература. 1.** Рюмкин А. В. Оценка возможности применения измерителя емкости САР-10 для обнаружения дефектов изоляции провода / А. В. Рюмкин; науч. рук. Г. В. Вавилова // *Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность"*, Томск, 23-27 мая 2016 г.: в 3 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – [4 с.]. **2.** ГОСТ 15845-80 (СТ СЭВ 585-77). Изделия кабельные термины и определения [Электронный ресурс]. – Введ. 1981.06.30 – с измен. 2015.01.16 – Режим доступа: URL: <http://meganorm.ru/Index/23/23800.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 02.05.2017). **3.** Рюмкин А. В. Применение измерителя емкости электрического провода для выявления дефектов: дипломный проект / А. В. Рюмкин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт неразрушающего контроля (ИНК), Кафедра физических методов и приборов контроля качества (ФМПК); науч. рук. Г. В. Вавилова. – Томск, 2016. **4.** ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. [Электронный ресурс] – Введ. 1979.07.01. – с измен. 2015.05.21. – Режим доступа: URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4294851/4294851954.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 01.05.2017). **5.** ГОСТ 27893-88 (СТ СЭВ 1101-87). Кабели связи. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – Введ. 1990.01.01. – с измен. 2015-01-16. – Режим доступа: URL: <http://meganorm.ru/Index/11/11797.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 01.05.2017). **6.** Рюм-

кин А. В. Возможность обнаружения дефектов изоляции с помощью измерителя ёмкости САР-10 / А. В. Рюмкин, Г. В. Вавилова; науч. рук. Г. В. Вавилова // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г.: в 3 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – [С. 177-179].

**Реквизиты для справок:** Россия, 634028, Томск, ул. Савиных 7, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кандидату технических наук, старшему преподавателю, Вавиловой Г.В.; тел. (3822) 41-73-07. E-mail: [wgw@tpu.ru](mailto:wgw@tpu.ru).

## ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТНЫМ ВЫХОДОМ ДЛЯ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

ДРОБОТ П.Н.

В настоящей работе рассмотрен датчик магнитного поля с частотным выходом, разработанный в результате исследований осциллисторного эффекта в кремнии в области низких криогенных температур от 77 до 120°К. Осциллисторный датчик магнитного поля представляет собой уникальную инновационную разработку, основанную не на схемном решении, а на физическом осциллисторном эффекте.

Осциллистор – это специальный полупроводниковый диод, размещенный в магнитном поле малогабаритных постоянных магнитов, включенный последовательно с резистором нагрузки  $R_H$  и источником питания. Соединительные провода могут достигать нескольких километров без ущерба для работы осциллистора [1,2,3]. Частота осциллистора зависит от ряда внешних физических факторов [4,5], что позволило создать на основе кремниевых осциллисторов следующие опытные образцы и исследовать их характеристики: датчики с частотным выходом магнитной индукции и температуры [6,7,8], генератор ВЧ сигналов, *RF*-преобразователь (*resistor-to-frequency*–преобразование) [9].

Полупроводниковая технология изготовления осциллисторных датчиков отличается простотой, поскольку не является интегральной и для их производства не нужно высокотехнологичное производство электронной промышленности, с развитой инфраструктурой и дорогостоящее. При этом отсутствуют проблемы интегральной миниатюризации, отмеченные, например, в работе [10], связанные с одновременным ужесточением противоречащих друг другу требований по габаритным размерам и по стабильности рабочих параметров [10].

Кремниевый осциллисторный датчик магнитного поля представляет собой кристалл в виде параллелепипеда с размерами несколько сотен микрон и двумя электрическими контактами, последовательно включен-

ный с сопротивлением нагрузки. Кристалл закреплен на специальном кристаллодержателе и помещен в корпус, конструктив которого определяется техническим заданием и условиями использования датчика. При температуре жидкого азота  $T = 77^\circ\text{K}$  диапазон измеряемых магнитных индукций  $B = (0,4 \div 1,1)$  Тл при постоянном напряжении питания  $U^*$  равном 3,7 и 5,8 В от стандартных химических источников тока, либо в виде прямоугольных импульсов длительностью 100 – 200 мкс, повторяющихся с частотой 10 – 50 Гц или одиночных. Выходной сигнал датчика представляет собой колебания напряжения на измерительном сопротивлении нагрузки  $R_n = 10$  Ом [6].

Измерительные характеристики датчика при постоянном напряжении питания 3,7 и 5,8 В следующие. При изменении магнитного поля от 0,4 Тл до 1,1 Тл амплитуда сигнала на нагрузочном сопротивлении изменяется в целом нелинейно: вначале быстрый рост, затем – тенденция к насыщению при 5,8 В или выход на насыщение при 3,7 В. В целом амплитуда меняется в диапазоне от 0,1 милливольт до 1,2 милливольт: от 0,1 мВ до 0,5 мВ при  $U^* = 3,7$  В с выходом на насыщение при  $B = 0,65$  Тл; от 0,1 мВ до 1,15 мВ с замедлением роста при  $B \approx 0,75$  Тл.

Частота в целом меняется от 0,4 МГц до  $\sim 2,0$  МГц линейным образом с высоким коэффициентом линейной корреляции  $K = 0,999$ . Чувствительность к магнитному полю отличается очень высокими значениями. При напряжении питания 3,7 В чувствительность к магнитному полю  $df/dB = 1,08$  МГц/Тл; при напряжении питания 5,8 В чувствительность к магнитному полю  $df/dB = 2,0$  МГц/Тл.

**Литература.** 1. V. I. Gaman, P.N. Drobot. Silicon oscillistor as a thermometer with frequency output // Russian Physics Journal. – 1995. – V. 38. – Iss.2. – p.p. 143-146. 2. V. I. Gaman, P.N. Drobot. Oscillistor sensors with a frequency output based on a silicon structures // International conference on actual problems of electronic instrument engineering proceedings. – 1998. – №1. – p.p. 133-134. 3. В.И. Гаман, П.Н. Дробот. Термочувствительный элемент с частотным выходом на основе кремниевого осциллатора // Известия высших учебных заведений. Физика. 1995. – № 2. – С. 48-53. 4. В.И. Гаман, П.Н. Дробот. Пороговая частота винтовой неустойчивости электронно-дырочной плазмы в кремниевых осциллаторах // Известия высших учебных заведений. Физика. 2001. – № 11. – С. 39-44. 5. В.И. Гаман, П.Н. Дробот. Пороговые характеристики кремниевых осциллаторов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2001. – № 1. – С. 44-49. 6. П. Н. Дробот и др. (СССР). А.с. 1686940 СССР МПК G01 R33/06 Датчик магнитной индукции с частотным выходом. 4788942/21; заявлено 05.02.90; опубл. 15.12.93, Бюл. № 45-46. 7. П. Н. Дробот и др. Пат. 1686940 Российская Федерация, МПК G01 R33/06. Датчик магнитной индукции с частотным выходом, заявитель и патентообладатель Сибир-

ский физико-технический институт. Опувл. 15.12.93. Бюл. № 45-46. **8.** П. Н. Дробот и др. Свидетельство на полезную модель № 974 Российская Федерация, МПК G01K07/00. Датчик температуры с частотным выходом – 5056505/10, заявлено 04.06.1992. Заявитель и патентообладатель Сибирский физико-технический институт. Опувл. 16.10.1995. Бюл. № 10. **9.** P.N. Drobot. Oscillistor RF-converter resistance to frequency // Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2016 13th International Scientific-Technical Conference, 2016, pp. 1-1. **10.** А.В. Косых, С.А. Завьялов, К.В. Мурашов. Моделирование полупроводникового датчика температуры, используемого в интегральных системах температурной стабилизации частоты источников опорных колебаний. // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3/1. – С. 43 – 47.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 40, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кандидату физико-математических наук, доценту Дробот П.Н., тел. (382-2) 70-17-37. E-mail: dpn7@mail.ru*

## **ГОДОГРАФЫ ДЛЯ СВЕРХМИНИАТЮРНОГО ВИХРЕТОКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ-ТРАНСФОРМЕРА**

**ДМИТРИЕВ С.Ф., ИШКОВ А.В., МАЛИКОВ В.Н., РЕПЕТУН Д.Ю., САГАЛАКОВ А.М., НАЗАРОВ Р.Х., НЕБЫЛИЦА Я.И.**

Разработанная концепция виртуализированного измерителя-трансформера позволяет решать универсальные задачи по получению, преобразованию и визуализации различной измерительной информации одним датчиком, интегрированным в составе специализированного программно-аппаратного комплекса. Датчик позволяет определить напряженность магнитного поля для магнитно-твердых и магнитно-мягких материалов, а также значение электропроводности для материалов, не обладающих магнитными свойствами с помощью токовихревого метода контроля.

С целью уменьшения стоимости прибора возникла идея замены дорогих аппаратных блоков программным обеспечением для персональных компьютеров. В результате, разработанный прибор включает в себя только токовихревой преобразователь (ВТП), подключаемый к ПК посредством звуковой платы. Конструкция ВТП может быть использована для измерения напряженности постоянного магнитного поля.

Токовихревой преобразователь служит для преобразования измеряемой характеристики вещества (электропроводности или напряженности постоянного магнитного поля) в электрический сигнал. Преобразователь ВТП содержит возбуждающую и измерительную обмотку.

Принцип работы датчика основан на создаваемом в датчике переменном магнитном поле, локализуемом на объекте контроля при помощи ферритового сердечника пирамидальной формы. Форма сердечника обусловлена необходимостью локализации магнитного потока от возбуждающей (генераторной) катушки. Для материала сердечника в данной модели использовался среднечастотный мало-диссипативный феррит 2000 НМ3. Катушки пропитаны компаундом при температуре 200 С<sub>о</sub>, что предотвращает разрушение датчика после наложения ферритового экрана, предназначенного для локализации магнитного поля на объекте контроля. Снаружи датчик заключен в диэлектрическую корундовую шайбу, которая защищает сердечник от контакта с объектом контроля.

Под действием переменного магнитного поля тока, подаваемого на генераторную обмотку датчика, в измерительной обмотке наводится ЭДС, а ферритовый сердечник внутри катушки начинает колебаться с частотой, соответствующей частоте переменного тока. Определенное влияние оказывают возникающие в сердечнике магнитострикционные эффекты. В случае, если объектом контроля является магнитотвердый материал, расположенный так, что силовые линии его магнитного поля направлены параллельно расположению сердечника, то объект контроля намагничивает ферритовый сердечник. По закону электромагнитной индукции движущийся в катушке постоянный магнит создает поле, противоположное первичному магнитному полю возбуждающей обмотки. Поэтому результирующее поле зависит от напряженности постоянного поля контролируемого объекта, и по результирующему напряжению на измерительной обмотке мы можем судить о величине напряженности магнитного поля.

Если же объект не обладает магнитными свойствами или расположен так, что линии его магнитного поля проходят перпендикулярно датчику, то с помощью датчика-трансформера можно определить значение электрической проводимости объекта, используя токовихревой метод контроля. Электромагнитное поле генераторной обмотки возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте контроля. Плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от взаимного расположения измерительного токовихревого преобразователя и объекта. Магнитное поле вихревых токов противоположно первичному магнитному полю генераторной обмотки, вследствие чего результирующее поле зависит от электромагнитных свойств контролируемого объекта и от расстояния между преобразователем и объектом, поскольку распределение плотности вихревых токов зависит от этих факторов. В измерительной обмотке преобразователя наводится ЭДС, которая и служит сигналом, передающим информацию об объекте в блок измерения [2-4].



В этом случае ЭДС измерительной обмотки уменьшается за счет противоположного магнитного поля создаваемого вихревыми токами. Однако уменьшение ЭДС при этом не настолько значительно, как в случае с постоянным магнитным полем.

В основе метода вихревых токов лежит зависимость интенсивности и распределения вихревых токов в объекте контроля от его геометрических, электромагнитных (и связанных с ними) параметров и от взаимного положения измерительного преобразователя и объекта контроля. Основным информативным параметром этого метода  $\beta_0$  является обобщенной характеристикой исследуемого объекта, токовихревого датчика и частоты электромагнитного поля.

Разработка адекватной модели отклика токовихревых трансформаторных преобразователей накладного типа, чувствительной сразу ко многим переменным и позволяющей восстанавливать годографы напряжения, вносимого в его измерительную обмотку, безусловно, является актуальной задачей.

Возбуждающее электромагнитное поле можно считать квазистационарным, то есть можно пренебречь токами смещения. Волновыми процессами в диэлектрической среде можно пренебречь, учитывая, что размеры рассматриваемой системы много меньше длины волны, а потери на излучение весьма малы. В объекте контроля нас интересуют лишь те волновые процессы, которые будут обусловлены наличием электрической проводимости и магнитной проницаемости.

С учетом полученных соотношений, были построены годографы, иллюстрирующие влияние различных параметров среды и датчика на значения вносимых напряжений (рис.1, рис.2).

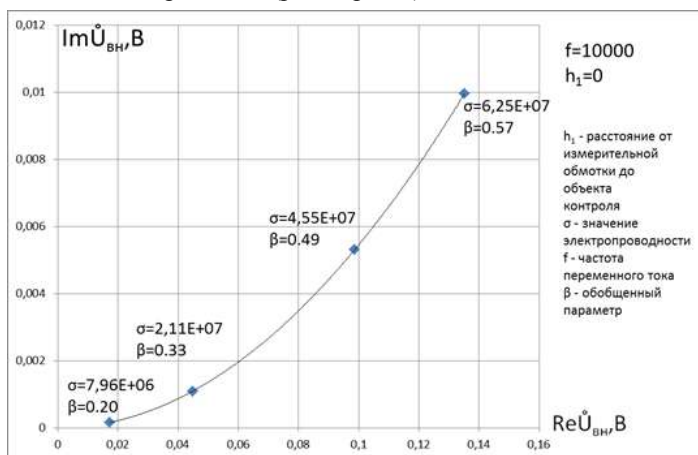


Рис. 1 Годограф напряжения, вносимого в измерительную обмотку при увеличении электропроводности

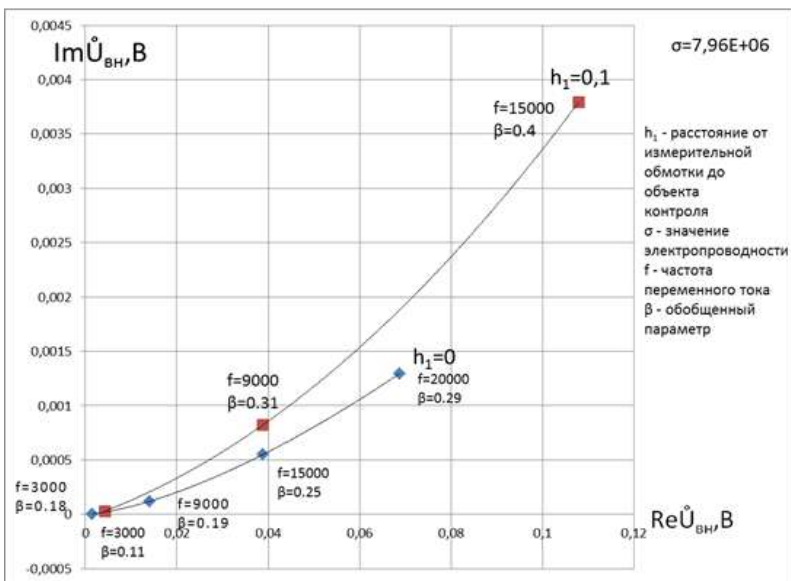


Рис. 2. Годограф напряжения, вносимого в измерительную обмотку при увеличении частоты и расстояния от измерительной обмотки до объекта контроля

Построенные годографы хорошо иллюстрируют зависимость полного вносимого напряжения от различных параметров датчика и объекта контроля. На значение вносимого напряжения значительное влияние оказывает расстояние от измерительной катушки до полупространства, а также частота электромагнитного поля. Таким образом, данные годографы позволяют оптимизировать конструкцию датчика, выбрать наиболее эффективные параметры для конкретной измерительной задачи.

Одновременно были построены и годографы для электрической проводимости, которые можно использовать для определения электропроводимости при заданных параметрах датчика

**Работа выполнена при поддержке** Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта – 17-48-220044) «Создание и исследование высокоэффективных композиционных и наноструктурированных упрочняющих покрытий».

**Литература. 1.** Дмитриев С.Ф. Метрологическое обеспечение виртуализированных измерительных приборов, реализующих метод вихревых токов / С.Ф. Дмитриев. – Ползуновский вестник, 2012. – № 3-2. – С. 147-149.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Красноармейский, 90, 012.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИЕРАРХИИ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

ИВЧЕНКО С.П., СУЧКОВА Л.И.

На данный момент ежедневно генерируются огромные объемы данных во всевозможных областях науки и техники, причем данные зачастую содержат скрытые закономерности, имеют причинно-следственные связи. Для выявления таких связей ключевым является учет времени появления данных, или их темпоральный аспект [1]. Временные ряды хорошо отражают динамику изменения данных, однако поиск в них осмысленной информации сложен. Особый интерес представляет поиск временных шаблонов, но они обычно связаны с конкретной предметной областью и жестко к ней привязаны [2].

Наиболее сложно поиск и описание темпоральных закономерностей реализуется для нескольких временных рядов.

**Целью работы** является разработка алгоритмов и программной реализации методики выявления темпоральных закономерностей в группе рядов с помощью грамматики специального вида, а также разработка грамматики, способной в полной мере описать результаты, найденные в процессе анализа временных рядов.

Данная работа основана на методике поиска информации в многомерных временных рядах, называемой универсальной темпоральной грамматикой [3]. Основная идея поиска шаблонов при помощи данного метода заключается в разбиении сложной задачи на несколько простых подзадач и простые для понимания уровни временной абстракции. Символьная иерархия временных шаблонов строится снизу-вверх, из логических описаний базовых элементов.

Первым уровнем является уровень примитивов, состоящий из описания входных данных и описаний нескольких аспектов. Примитивные шаблоны, как и все соответствующие им конструкции на прочих уровнях, представляют собой триплеты и состоят из лейбла, аббревиатуры и списка условий. Условия содержат базовые переменные и интервалы, указывающие, когда требуется применять данный примитивный шаблон. Вторым уровнем является уровень наследственности. Данный уровень состоит из описаний аспектов и связанных с ними наследственностей. Каждый аспект данного уровня соответствует аспектам уровня примитивов, и имеет такую же временную размерность. Описания наследственностей состоят из аббревиатуры, лейбла и условий. Условия состоят из аббревиатур и интервалов. Все последующие уровни содержат только описание соответствующих уровню конструкций. Описания объектов на данных уровнях различаются только условием. На каждом последующем уровне в условиях используются объекты из предыдущего уровня. Опи-

сание условия на данном уровне событий представляет из себя список наследственностей, которые произошли одновременно. Описания условий на уровне последовательностей представляют собой список событий, которые могут следовать друг за другом. Условия на уровне временных шаблонов представляют собой список последовательностей, отображающий их возможный порядок следования. Исходными данными для данного метода являются временные ряды, представленные в форме матрицы чисел. Данный метод работает не с численными данными, а с семиотическими, то есть символьными, поэтому перед использованием входные данные нужно преобразовать.

На рисунке 1 показан пример предварительной обработки данных, отражающих измерения показателей давления, пульса и частоты дыхания.

На рисунке 1 семиотическое описание шаблонов расположено слева. Строки матрицы с исходными данными соответствуют трём временным рядам для показателей давления, пульса и частоты дыхания. Преобразованная матрица примитивных шаблонов формируется из исходной матрицы заменой чисел на семиотические обозначения. После того как исходная матрица с временными рядами была преобразована в матрицу примитивных шаблонов, осуществляется непосредственный анализ данных. На рисунке 2 схематично изображен процесс поиска временной информации с применением темпоральной грамматики.

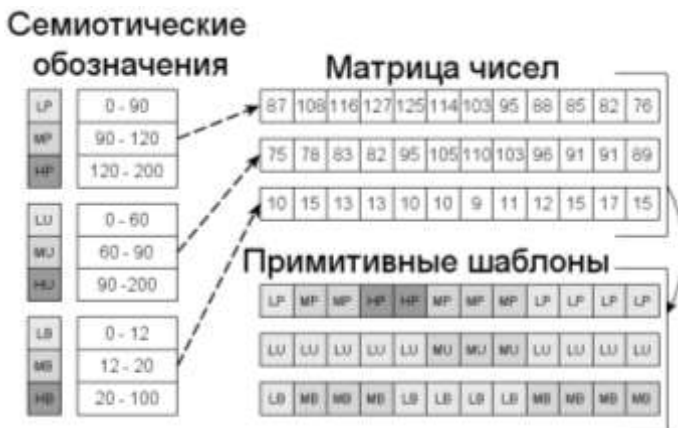


Рис. 1. Пример предварительной обработки данных

Первым этапом анализа является нахождение наследственностей. Следующим шагом алгоритма является поиск событий. Событие – это совпадение, или частичное совпадение начала и конца нескольких наследственностей в разных временных рядах.

Следующим этапом анализа является поиск последовательностей –

нескольких событий, идущих друг за другом по времени. При поиске последовательностей допускается погрешность.

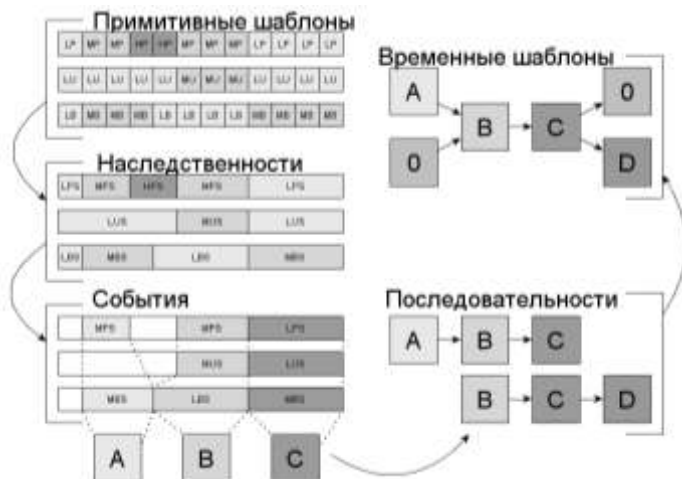


Рис. 2. Схема анализа временных рядов

Далее производится поиск временных шаблонов. В большинстве случаев многие найденные последовательности будут похожи друг на друга, и могут иметь всего лишь небольшие различия. Подобные последовательности объединяются во временной шаблон. Степень сходства временного шаблона определяется с помощью специального алгоритма, основанного на алгоритме Левенштейна [4].

Все описанные выше шаги анализа временных рядов были реализованы программно. Скриншот главного окна представлен на рисунке 3. Для написания программы был выбран язык программирования C#. Для лингвистического описания найденных темпоральных закономерностей была разработана специализированная грамматика. Для парсинга был создан лексический анализатор [5], реализованы средства синтаксического и семантического анализа [6]. Разработанное программное обеспечение предназначено для анализа данных с помощью темпоральной грамматики. В программе присутствует возможность поэтапного поиска информации, что позволяет отсеивать не интересующие пользователя данные на ранних этапах, ускоряя последующий поиск.

Все результаты анализа выводятся в текстовое поле в главном окне программы, при желании их можно отредактировать, удалив не интересующие пользователя данные. При удалении объекта на нижних уровнях все зависимые конструкции будут каскадно удалены.



# **4 ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

## **ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

ИСМАИЛОВ Т.А., РАГИМОВА Т.А., ХАЗАМОВА М.А.

Определение реакции зуба на температурные раздражители – один из самых старых физических методов исследования, широко применяемый для определения состояния пульпы. Зубы обладают как холодовой, так и тепловой чувствительностью. Адекватная реакция (если нагревание и охлаждение вызывают соответствующее ощущение) свидетельствует о нормальном состоянии пульпы. При воспалении пульпы происходит сужение индифферентной зоны и при незначительных отклонениях от температуры тела (на  $5\div 7$  °С) уже возникает ответная реакция в виде продолжительных интенсивных или ноющих болей [1].

В стоматологической практике используют термоэлектрическое устройство для температурной диагностики и электроодонтометрии состояния зубов [2], содержащее воздействующий элемент, включающий в себя размещенные в корпусе медный зонд, термоэлектрическую батарею, находящуюся в тепловом контакте с медным зондом и проточным радиатором, источник постоянного тока, выполненный с возможностью задания температуры воздействия, и датчик температуры, расположенный внутри корпуса. Недостатками данного устройства являются его значительные габаритные размеры и низкая точность температурной диагностики из-за малой контактной площади и неплотного прилегания медного зонда к поверхности зуба, инерционности процесса теплового воздействия ввиду больших габаритных размеров прибора, удаленности датчика температуры от воздействующей части наконечника, отсутствия автоматической смены температурных режимов и отсутствия обратной связи с пациентом.

В НИИ «Полупроводниковые термоэлектрические преобразователи и устройства» при ФГБОУ ВО «ДГТУ» разработана конструкция прибора для термоодонтометрии, повышающего точность диагностики, контроля и регулировки температуры воздействия, позволяющего создавать температурный градиент между исходным и соседними зубами, улучшить массогабаритные показатели устройства, повысить качество контакта с поверхностью зуба и скорость учета обратной реакции пациента, а также уменьшить инерционность процесса при смене температурных режимов.

Данная конструкция приведена на рис.1-2. Устройство состоит из набора воздействующих съемных насадок 1, теплопроводящего опорного блока 2 и блока контроля и регулировки температуры воздействия 3.

В свою очередь каждая воздействующая съемная насадка 1 состоит из диэлектрических прижимных пластин 4 различной формы, фиксирующих насадку на зубе, высокотеплопроводной гелевой прокладки 5, приводимой в контакт с поверхностью зуба, эластичность которой обеспечит ее плотное прилегание к поверхности зуба, полупроводникового термоэлектрического модуля (ТЭМ) 6 с выступающими электрическими выводами 7, алюминиевой пластины 8, имеющей форму четырехгранной усеченной пирамиды для создания направляющей боковой поверхности воздействующей съемной насадки. При этом высокотеплопроводная гелевая прокладка 5 находится в тепловом контакте с рабочими спаями 9 ТЭМ 6, опорные спаи 10 которого находятся в тепловом контакте с алюминиевой пластиной 8, а внутренняя поверхность гелевой прокладки 5 содержит датчик температуры 11, связанный с блоком контроля и регулировки температуры воздействия 3.

Теплопроводящий опорный блок 2 включает в себя короб 12 с ручкой

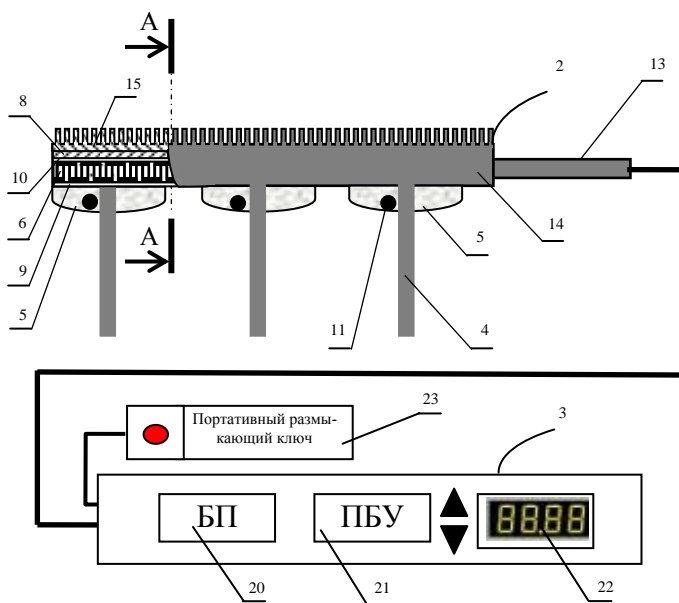


Рис. 1. Конструкция полупроводникового термоэлектрического устройства для контрастной термоодонтометрии с воздушным охлаждением

13, боковые стенки 14 и ручка 13 которого выполнены из материала с низкой теплопроводностью, а верхняя стенка представляет собой цельнометаллический радиатор 15, оребренный с внешней стороны, из мате-



риала с высокой теплопроводностью. При этом боковые стенки 14 опорного блока 2 имеют скошенные направляющие 16 у основания для возможности вставки и фиксации алюминиевой пластины 8 воздействующей съемной насадки 1, и две пары пазов (левый 17 и правый 18 соответственно) с электрическими контактами 19 под выступающие электрические выводы 7 ТЭМ 6. Блок контроля и регулировки температуры воздействия 3 включает в себя блок питания (БП) 20, связанный с программируемым блоком управления (ПБУ) 21, на который поступает сигнал от датчика температуры 5, содержащий цифровое табло 22, а также портативный размыкающий ключ 23, связанный с блоком питания 20.

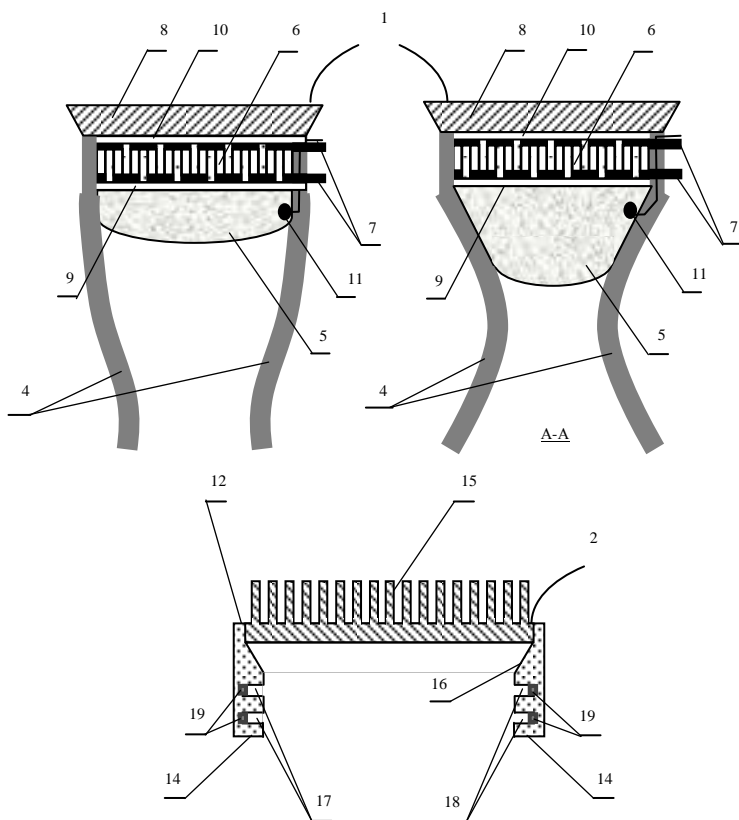


Рис. 2. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для контрастной термоодонтометрии в разрезе А-А

Принцип работы предлагаемого устройства следующий.  
Перед началом использования прибора в опорный блок вставляются

воздействующие съемные насадки, подобранные в соответствии с формой зубов. Крайние воздействующие съемные насадки посредством выступающих электрических выводов ТЭМ должны контактировать с электрическими контактами в левой паре пазов, а центральная воздействующая съемная насадка посредством выступающих электрических выводов ТЭМ должна контактировать с электрическими контактами в правой паре пазов, что обеспечивает дифференциацию питания съемных насадок. Расстояние между воздействующими съемными насадками может варьироваться в соответствии с геометрией зубов пациента, а диэлектрические прижимные пластины позволят при контакте устройства с ними прижать его плотнее для улучшения теплового контакта с высокотеплопроводной гелевой прокладкой. Далее на программируемом блоке управления задается температура воздействия центральной воздействующей съемной насадки, которая отображается на цифровом табло. В соответствии с заданной температурой с ПБУ подается электрический сигнал на БП, который питает ТЭМ центральной воздействующей съемной насадки величиной тока, соответствующего заданной температуре воздействия, а на ТЭМ крайних съемных насадок от БП подается величина электрического тока, соответствующая температуре воздействия величиной 36,6°C. При подаче электрического тока на ТЭМ их рабочие спаи начинают охлаждаться либо нагреваться в соответствии с заданной температурой воздействия и охлаждать либо нагревать высокотеплопроводную гелевую прокладку, температура которой фиксируется датчиком температуры и передается на ПБУ. Стабилизация температуры опорных спаев ТЭМ всех используемых насадок осуществляется через их тепловой контакт с алюминиевыми пластинами и единым теплопроводящим опорным блоком. Опорные спаи крайних воздействующих съемных насадок будут охлаждать цельнометаллический радиатор, а опорные спаи центральной воздействующей съемной насадки будут его нагревать (при охлаждении биообъекта). При смене температуры воздействия центральной съемной воздействующей насадки добиваются болевой реакции пациента по верхней и нижней границам температурного интервала, которую он фиксирует нажатием кнопки на портативном размыкающем ключе, электрически связанном с БП. Питание ТЭМ в этом случае прекращается, а температура воздействия фиксируется на цифровом табло.

**Литература. 1.** Диагностика заболеваний пульпы и периодонта. – Казань: Медицина, 2002. – С. 9 – 14. **2.** Патент US № 4350488 А, 21.09.1982 г. Dental pulp tester / Laurance V. Devis.

**Реквизиты для справок.** Россия, 367015, Махачкала, пр. Имама Шамиля 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», кафедра теоретической и общей электротехники, к.т.н., доцент Хазамова М.А. – kaftoe2016@yandex.ru, тел. (8722)628269.

## МЕТОДЫ, СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА В САНАТОРИИ

БАЛАНДОВИЧ Б.А., НАГОРНЯК А.С.

Труд медицинских работников является одним из наиболее сложных видов деятельности, так как характеризуется воздействием комплекса физических, химических и биологических факторов [1].

Значительная часть медицинского персонала испытывает зрительное перенапряжение, трудится в неудобной рабочей позе, контактирует с вредными химическими веществами, работает с источниками электромагнитных, радиоактивных, лазерных, ультрафиолетовых излучений и ультразвука [2, 3].

**Целью работы** было проведение комплексной гигиенической оценки условий труда медицинского персонала при сочетанном применении физиотерапевтических процедур в медицинском учреждении «Санаторий Центросоюза РФ» города-курорта Белокуриха Алтайского края. Основные задачи заключались в проведении измерений физических, радиационных и химических факторов производственной среды на рабочих местах врачей и среднего медицинского персонала, определении классов условий труда и степеней профессионального риска с последующей разработкой комплекса профилактических мероприятий по снижению уровня воздействия вредных факторов.

В ходе работы были проведены исследования физических, радиационных и химических факторов производственной среды на 45 рабочих местах медицинского персонала МУ «Санаторий Центросоюза Российской Федерации». Всего в соответствии с действующими нормативно-методическими документами было выполнено 180 замеров микроклимата с помощью измерителя параметров микроклимата «Метеоскоп» и комбинированного прибора «ТКА-ПКМ/43», 289 измерений параметров световой среды (искусственная освещенность, коэффициент пульсации, яркость, коэффициент естественного освещения) люксетрами «ТКА-ПКМ/08» и «ТКА-ПКМ/02», 135 измерений аэроионного состава воздуха (концентрации аэроионов положительной и отрицательной полярности, коэффициент униполярности) с помощью малогабаритного счетчика аэроионов «МАС-01», 247 замеров электромагнитных излучений трехкомпонентным измерителем параметров электрических и магнитных полей «ВЕ-МЕТР АТ-004», а также измерителем параметров электромагнитного поля ПЗ-34, 48 измерений шума и эквивалентных уровней звукового давления шумомером-анализатором спектра «ЭКОФИЗИКА-110А», 270 измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения с применением дозиметра-радиометра «ДРБП-03» и 34 измерения эквива-

лентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в воздухе в сочетании с измерением удельной активности радона в 12 пробах лечебной воды с помощью измерительного комплекса «АЛЬФАРАД + АРП». Кроме того, было выполнено 28 исследований вредных веществ в воздухе рабочей зоны (сероводород и углеводороды нефти) с помощью анализатора-течеискателя «АНТ-3М» с фотоионизационным детектором на базе источника ультрафиолетового излучения с энергией 10,6 эВ. Уровни инфракрасного и ультрафиолетового излучения измерялись соответственно радиометром теплового излучения «ИК-метр» и ультрафиолетовым радиометром «ТКА-ПКМ -12», количество измерений данных показателей составило 35. Общее количество измерений физических, радиационных и химических факторов в ходе исследования составило 1098.

Классы условий труда на рабочих местах медицинского персонала для отдельных факторов производственной среды определялись на основании Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

При расчете показателей профессионального риска в соответствии с Р 2.2.1766-03 "Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы. Принципы и критерии оценки" учитывались коэффициенты, характеризующие индекс профзаболеваний (Ипз) с целью построения априорных моделей оценки профессионального риска: для класса условий труда 3.1 – 0,05-0,11; для класса 3.2 – 0,12-0,24; для третьей степени вредных условий труда – 0,25-0,49; для класса 3.4 – 0,5-1,0 [4].

Для оценки сочетанного действия как физических, так и химических факторов производственной среды был использован интегральный показатель условий труда (ИПУТ) Кармолина-Сыромятникова [5], рассчитанный по следующей формуле:

$$\text{ИПУТ} = \left[ \sum_{i,j=1}^n (d_i \cdot d_j^{-1})^2 \right]^{0.5} \cdot n^{-0.5}, \quad (1)$$

где  $d_i$  – реальное значение  $i$ -го неблагоприятного фактора производственной среды;

$n$  – число факторов;

$d_j$  – переменная величина, колеблющаяся в зависимости от значения фактора следующим образом: если  $d_i < d_o$ , то  $d_j = d_i$ ; в случае, если  $d_i > d_o$ , то  $d_j = d_o$ , где

$d_o$  – предельно допустимый уровень (концентрация)  $i$ -го фактора окружающей среды.

Интегральный показатель условий труда был дифференцирован на 4 степени (от 1 до 10 условных единиц), которые характеризовались определёнными интервалами значений с соответствующими уровнями профессионального риска от предельно допустимых профессиональных нагрузок до третьей степени профессионального риска, которая может привести к развитию средних и тяжелых форм профессиональной патологии.

В ходе исследования была выполнена гигиеническая характеристика технологических процессов и вредных производственных факторов для отдельных физиотерапевтических процедур.

Так, при гидротерапии и бальнеолечении интегральная оценка условий труда на рабочих местах характеризовалась показателем 1,1, который определяет первую степень профессионального риска, сочетающуюся с классом условий труда 3.1 в результате несоответствия гигиеническим нормативам по параметрам световой среды (искусственная освещенность и коэффициент пульсации).

В процессе грязелечения максимально разовая концентрация сероводорода в воздухе рабочей зоны составила  $3,25 \pm 0,3$  мг/м<sup>3</sup>, что соответствовало ПДК=10 мг/м<sup>3</sup>. Интегральный показатель условий труда (ИПУТ) для медицинской сестры кабинета грязелечения составил 1,4, что соответствовало классу условий труда 3.1 и первой степени профессионального риска за счет состояния световой среды и аэрионного состава воздуха (по коэффициенту униполярности), а также индексом профессиональной заболеваемости 0,05-0,11.

Учитывая, что при парафинотерапии использовался расплавленный парафин (температура плавления медицинского парафина составляет 52-55 градусов Цельсия), для комплексной оценки микроклимата на рабочих местах определялся индекс тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс), значения которого колебались в интервале 21,7-22,3°C, что не превышало гигиенический норматив, равный 25,1° С для ТНС-индекса с учетом категории тяжести выполняемой работы. Испарение парафина приводило к выделению предельных углеводородов в воздух рабочей зоны, при этом среднесменная концентрация углеводородов нефти составила  $36,0 \pm 7,2$  мг/м<sup>3</sup>, что также соответствовало ПДК=300 мг/м<sup>3</sup>.

Радоновые процедуры, проводимые в санатории, включали в себя как общие радоновые ванны, так и локальные радоновые орошения.

При оценке радиационного фактора измерялась эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в воздухе помещений санатория в сочетании с мощностью амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения. Радон, содержащийся в воде, применяемой для лечебной процедуры, эманировал как из самой воды в воздух рабочей зоны, так и выводился через дыхательные пути пациента после поступления в организм. Результаты проведенного в ходе исследования радиационного

контроля свидетельствуют, что значения ЭРОА радона на рабочих местах медицинского персонала радонового отделения колебались от  $226,7 \pm 15,4$  Бк/м<sup>3</sup> до  $258,7 \pm 12,6$  Бк/м<sup>3</sup>, а МЭД гамма-излучения от  $0,15 \pm 0,02$  мкЗв/ч до  $0,17 \pm 0,03$  мкЗв/ч, что соответствовало гигиеническим нормативам согласно «Норм радиационной безопасности» НРБ-99/2009, при этом удельная активность радона в пробах лечебной воды варьировала в пределах 106-109 Бк/л, что соответствовало лечебным водам с малой концентрацией радона.

Проведение магнитотерапевтических процедур характеризовалось превышением гигиенических нормативов при работе с аппаратом «Полимаг-01» (плотность магнитного потока составила 170-754 нТл в диапазоне 5Гц-2кГц при нормативе 250 нТл), а также на рабочем месте по обслуживанию аппарата «АЛИМП-1» (плотность магнитного потока колебалась от 657,9 до 2010,6 нТл), что соответствовало первой степени профессионального риска по воздействию электромагнитных излучений и требовало проведению комплекса защитных мероприятий с учетом ограничения времени воздействия для медицинского персонала.

**Заключение.** Таким образом, проведенный комплекс гигиенических исследований различных видов физиотерапевтических процедур при санаторно-курортном лечении свидетельствует о том, что условия труда медицинского персонала, в основном, характеризуются первой степенью профессионального риска с индексом профессиональной заболеваемости 0,05-0,11.

Перечень профилактических мероприятий по предупреждению воздействия неблагоприятных производственных факторов должен включать в себя принятие мер по нормализации параметров световой среды, снижение уровней электромагнитного излучения от используемой компьютерной техники и магнитотерапевтического оборудования, а также нормализацию аэроионного состава воздуха.

**Литература:** 1. Авхименко М.М. Некоторые факторы риска труда медика / М.М. Авхименко / Мед. помощь. 2003. №2. С. 25-29. 2. Горблянский, Ю.Ю. Актуальные вопросы профессиональной заболеваемости медицинских работников / Ю.Ю. Горблянский // Медицина труда и промышленная экология. – 2003.– № 1.– С. 8–12. 3. Ушаков А.А. Практическая физиотерапия. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2009. – 608 с. 4. Щербо А.П., Мельцер А.В., Киселев А.В. Оценка риска воздействия производственных факторов на здоровье работающих. – Санкт-Петербург. – 2005. – 115 с. 5. Кармолин Л.А., Сыромятников Ю.П. Интегральная оценка условий труда // Гигиена и санитария. – 1987. – №9.– С.41-42.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пер. Некрасова, 65, Институт гигиены труда и промышленной экологии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России, директор института, профессор Баландович Борис Анатольевич, тел.(385-2)566898, E-mail: dr.balandovich@mail.ru.*

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПЭВМ В ПОМЕЩЕНИИ**

**СУТОРИХИН И.А., КРАСИКОВ А.А., ТУЛИН Н.Ю.,**

Компьютеры, ноутбуки, планшеты являются персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ). В каждом из них есть более или менее мощный источник электромагнитных излучений различного частотного диапазона и диаграммы направленности.

Вся компьютерная техника, эксплуатируемая на территории Российской Федерации, проходит обязательную сертификацию [1]. Дополнительно на рабочих местах операторов ПЭВМ может осуществляться производственный контроль [2]. Требования к размещению ПЭВМ сформулированы в [3]. Однако, как оптимально расположить ПЭВМ относительно предметов интерьера в офисе или квартире нормативными документами не регламентируется.

Учитывая влияние расстановки мебели на распределение уровней электромагнитного излучения от ПЭВМ, то можно смоделировать наиболее рациональное ее размещение в квартире, офисе, компьютерном классе и т.д.

Чтобы получить картину распределения уровней напряженностей электромагнитного поля, создаваемого ПЭВМ, предлагается в качестве метода измерений взять симбиоз методов, сформулированных в ГОСТ [1] и СанПиН [2], т.е. измерять уровни напряженности электрического и магнитного полей на расстоянии 0,5 м, 1,0 м и 1,4 м от поверхности (пол) в 48 точках по кругу, в центре которого находится дисплей ПЭВМ. Измерения предлагается проводить на удалении от центра дисплея 0,5 м; 1,0 м; 1,5 м, всего в 144 точках (см.рис.1).

Данная методика, по прогнозам, позволит выявить зависимость уровней напряженности электрического и магнитного полей от расстояния от центра экрана и в дальнейшем прогнозировать распределение уровней напряженности ЭМП с учётом окружающих ПЭВМ предметов (мебель, стены, радиотехнические устройства и т.д.).

Первоначально измерений проводилась с стационарным ПЭВМ (Desktop). ПЭВМ подключался в одном случае к заземлённой розетке, в другом – к не заземлённой. Для измерений использовался измеритель параметров электрического и магнитного полей трёхкомпонентный ВЕ-метр.

Результаты измерений показали, что уровни напряженности электрического и магнитного полей убывают при увеличении высоты от пола при неизменном расстоянии до экрана стационарного ПЭВМ (рис.2,3).

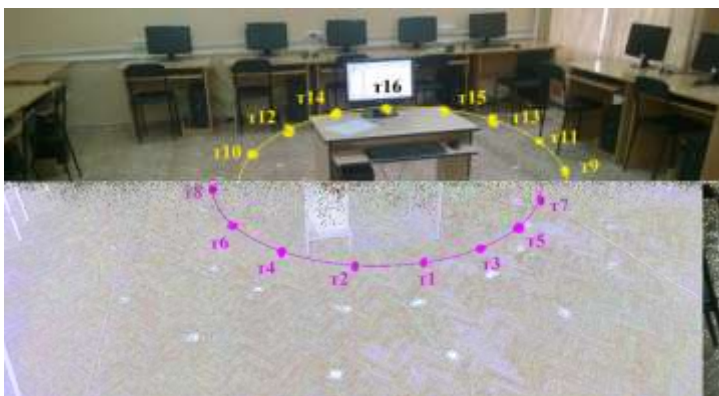


Рис. 1. Расположение точек замера



Рис. 2

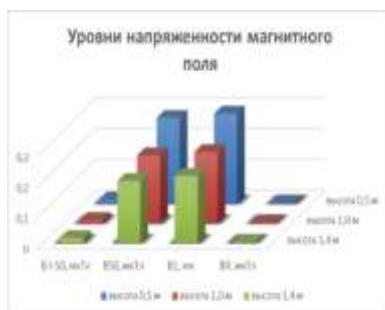


Рис. 3

Причем можно отметить, что перед экраном монитора на расстоянии 0,5 м убывание напряженности магнитного поля происходит более плавно. Вокруг стационарного ПЭВМ картина по изменению уровней похожа. Однако уровни напряженности увеличиваются со стороны системного блока и электрических проводов.

На рисунке 4 видим, что в точках №2; 4; 6; 8 наблюдается повышение уровней напряженности электрического поля. Эти точки расположены около системного блока ПЭВМ, а точки №3; 5; 7; 9 расположены с противоположной стороны от системного блока (рисунок 1). Повышение уровней напряженности электрического поля в точках 14;15;16 обусловлено электрическим проводом питания ПЭВМ.



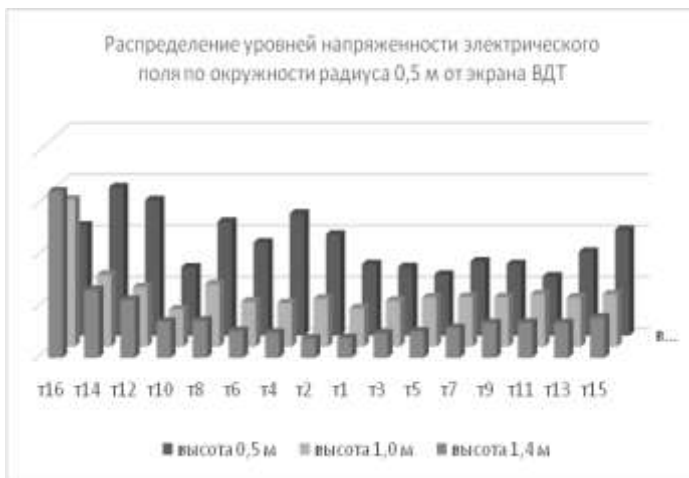


Рис. 4. Распределение уровней напряженности электрического поля по окружности радиуса 0,5 м от экрана ВДТ

С увеличением расстояния от стационарного ПЭВМ уровни напряженности электрических и магнитных полей уменьшаются. Тенденция повышенных уровней напряженности электрического поля в точках № 2; 4; 6; 8 сохраняется (рисунок 5). Вместе с тем видим, что в точке 9 при удалении на 1,5 м от монитора резко увеличивается уровни напряженности электрического поля. Это обусловлено системным блоком (неработающим!) рядом с точкой 9 на удалении 1,5 м от исследуемого ПЭВМ. С удалением от ПЭВМ уровни напряженности полей уменьшаются в 2-3 раза. Если же ПЭВМ подключен к не заземлённой розетке картина изменения уровней напряженности не меняется, но их значения возрастают в 7-8 раз. При удалении от ПЭВМ на 1,5 метра значения уровней напряженности электромагнитного поля не достигают предельно допустимых, оставаясь завышенными, а соответственно вредными для оператора и окружающих его людей.

**Литература:** 1. ГОСТ Р 50949-2001 Средства отображения информации индивидуального пользователя. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности. / М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 27 с. 2. СанПин 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. / Н.: Норматика, 2017. – 68 с. 3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. / М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 54 с. 4. Лиси-

цын А.П. Осадкообразование в океанах. Количественное распределение осадочного материала / А.П. Лисицын. – М.: Наука, 1974. – 438 с.

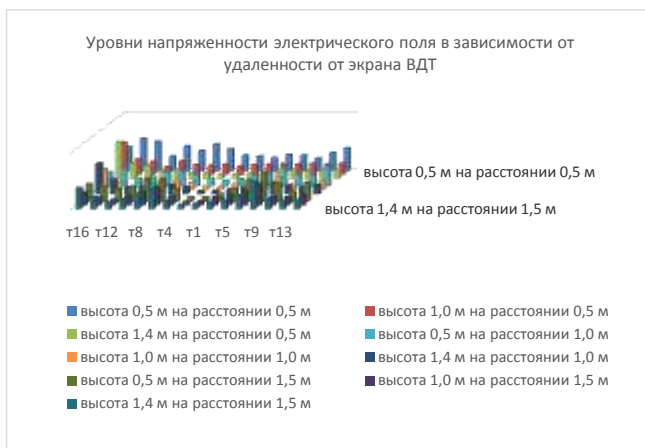


Рис. 5

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пер. Некрасова, 65, Институт гигиены труда и промышленной экологии ФГБОУ ВО «АГМУ» МЗ РФ, заведующий лабораторией ГМУТ Красиков Александр Анатольевич, тел. 8-905-082-53-68, E-mail: [Grizly137@yandex.ru](mailto:Grizly137@yandex.ru)

Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодёжная 1, Институт водных и экологических проблем СО РАН, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, профессор, Суторихин И.А., тел. (385-2) 66-65-02. E-mail: [sia@iwep.ru](mailto:sia@iwep.ru)

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ОЗЁРНОЙ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЁМОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ)

АКУЛОВА О.Б., БУКАТЫЙ В.И., ПОПОВ К.П.

**Введение.** Весьма широкое и плодотворное применение статистических методов во всех областях знания является характерным для современного этапа развития технических и естественных наук. Задача любой науки, в том числе и гидрооптики, состоит в выявлении и исследовании некоторых закономерностей, которым подчиняются реальные процессы. Найденные закономерности широко применяются на практике – в планировании, управлении и прогнозировании, а также имеют теоретическую ценность [1, 2]. Основной задачей исследователя при выборе методов

статистической обработки является нахождение наиболее адекватных способов решения поставленных в исследовании научных целей и задач.

**Цель работы** – проанализировать экспериментальные многолетние данные по спектральной прозрачности воды в разнотипных водоёмах Алтайского края с помощью применения методов статистической обработки.

**Материалы и методы.** Любое статистическое исследование всегда начинается с организации его подготовки. Работы по организации делятся на самостоятельные этапы или стадии: статистическое наблюдение, сводка и обработка материалов, анализ данных.

Основой для написания работы послужили результаты обработки и анализа 599 проб озёрной воды, отобранных на разных глубинах водоёмов Алтайского края – Лапа, Красиловское и Большое Островное в период 2011–2017 гг. Отбор проб проводили в местах постоянных наблюдений в пелагиальной части озёр с помощью батометра объёмом 1,5 литра. Измерения спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды в области спектра 400–800 нм проводились спустя 1–3 часа после взятия проб в лабораторных условиях на спектрофотометре типа ПЭ-5400УФ с погрешностью, равной 0,5% [3]. Водные пробы помещали в кварцевые кюветы. В различных сериях измерений (1 серия – это 12 отдельных измерений, а всего было 17496) использовали кюветы с рабочей длиной 10 и 12 мм. Затем рассчитывали первичную гидрооптическую характеристику – спектральный показатель ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$  по формуле

$$\varepsilon(\lambda) = (1/L) \cdot \ln(1/T), \quad (1)$$

где  $L$  – длина кюветы,  $T = I/I_0$  – прозрачность в относительных единицах,  $I, I_0$  – интенсивности прошедшего и падающего света, соответственно,  $\lambda$  – длина волны света. Абсолютная погрешность величины  $\varepsilon(\lambda)$  обусловлена погрешностью измерения коэффициента пропускания с помощью спектрофотометра и погрешностью определения длины кюветы. Максимальная абсолютная погрешность показателя ослабления света составила около  $0,5 \text{ м}^{-1}$ .

Для статистической обработки гидрооптических данных использовали стандартный пакет программ Microsoft Excel [4]. Модели строили на основе диаграмм одного из следующих типов: линейная, степенная, логарифмическая, экспоненциальная, полиномиальная. По характеру размещения уровней анализируемого ряда были сделаны предположения о возможном аналитическом выравнивании изучаемого ряда типовой математической функцией. Для нахождения наиболее значимого уравнения тренда использовали инструмент «Подбор линии тренда» из мастера диаграмм Microsoft Excel

**Результаты исследования.** На рис. в логарифмическом масштабе приведены результаты сезонных измерений  $\varepsilon(\lambda)$  (в обратных метрах) в исследуемых озёрах за период 2011–2017 гг., а также соответствующие аппроксимационные зависимости от длины волны в виде линейных уравнений.

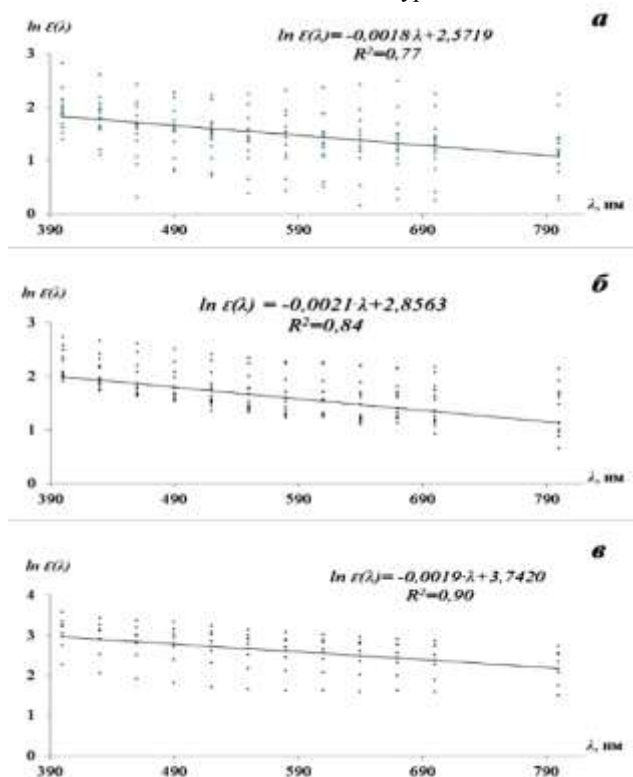


Рис. Спектральная изменчивость логарифма показателя ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$  в поверхностном слое озёр: а) – Лапа, б) – Красиловское, в) – Большое Островное

Из рис. видно, что имеет место высокая корреляция между значениями  $\ln \varepsilon(\lambda)$  и длиной волны  $\lambda$ , так как во всех случаях коэффициент детерминации  $R^2 \geq 0,77$ . Следует отметить, что  $R^2$  является удобным числовым показателем, интегрально характеризующим точностные свойства уравнения регрессии. Он показывает, какая доля из общего рассеяния экспериментальных значений отклика относительно своего среднего обусловлена регрессионной зависимостью [5]. На рис. видно, что все уравнения прямых, аппроксимирующие значения величин  $\ln \varepsilon(\lambda)$ , имеют одинаковый характер, т.е. наблюдается обратно пропорциональная зависимость.

Для количественных данных, подчиняющихся нормальному закону распределения, рассчитывали следующие величины:

1. Среднее абсолютное отклонение для дискретной случайной величины

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n |\chi_i - \bar{\chi}|}{n}, \quad (2)$$

где  $\chi_i$  –  $i$ -ое значение выборки  $X$ ,  $\bar{\chi}$  – математическое ожидание,  $n$  – число элементов в выборке.

2. Дисперсию дискретной случайной величины

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})^2}{n}, \quad (3)$$

где  $\chi_i$  –  $i$ -ое значение выборки  $X$ ,  $\bar{\chi}$  – математическое ожидание,  $n$  – число элементов в выборке.

3. Среднее квадратическое отклонение для дискретной случайной величины

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})^2}{n}}, \quad (4)$$

где  $\chi_i$  –  $i$ -ое значение выборки  $X$ ,  $\bar{\chi}$  – математическое ожидание,  $n$  – число элементов в выборке.

4. Математическое ожидание для дискретной случайной величины (в данном случае математическое ожидание идентично среднему значению)

$$\bar{\chi} = \sum_{i=1}^n (\chi_i \cdot p_i), \quad (5)$$

где  $\chi_i$  –  $i$ -тое значение ряда из последовательности чисел,  $p_i$  – вероятность встречи  $i$ -го значения.

В таблице приведены результаты расчётов. Здесь  $\mu$  – коэффициент, характеризующий наклон спектральной изменчивости показателя ослабления света, значение которого не является постоянным для различных водоёмов.

**Выводы.** Определён показатель ослабления света в озёрной воде по измерениям спектральной прозрачности в диапазоне 400–800 нм в пробах воды, отобранных на разных глубинах трёх разнотипных озёр Алтайского края в период с 2011 по 2017 гг. Рассчитаны коэффициенты детерминации  $R^2$  и числовые характеристики распределения коэффициента экспоненциального наклона спектральной изменчивости показателя ослабления света в озёрной воде  $\mu$ .

Таблица. Числовые характеристики распределения коэффициента экспоненциального наклона  $\mu$

Характеристики	Озеро		
	Лапа	Красиловское	Большое Островное
Математическое ожидание $\bar{\chi}$ , нм <sup>-1</sup>	0,0018	0,0021	0,0019
Дисперсия $D$ , нм <sup>-2</sup>	$1,98 \cdot 10^{-6}$	$6,34 \cdot 10^{-7}$	$1,74 \cdot 10^{-7}$
Среднее абсолютное отклонение $M$ , нм <sup>-1</sup>	0,0010	0,0006	0,0003
Среднее квадратическое отклонение $\sigma$ , нм <sup>-1</sup>	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$

**Литература. 1.** Калинин А.Г. Обработка данных методами математической статистики: монография / А.Г. Калинин. – Чита: ЗИП СиБУПК, 2015. – 106 с. **2.** Костин В.Н., Тишина Н.А. Статистические методы и модели: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 138 с. **3.** Руководство по эксплуатации. Спектрофотометр ПЭ-5400УФ. Паспорт БКРЕ.941412.001-03РЭ. Группа компаний «Экрос», СПб., 2010. – 35 с. **4.** Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с. **5.** Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. Минск: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодёжная 1, Институт водных и экологических проблем СО РАН, доктору физико-математических наук, профессору, Букатому В.И., тел. (385-2) 66-65-01. E-mail: [v.bukaty@mail.ru](mailto:v.bukaty@mail.ru)*

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРАСТНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕДУР В КОСМЕТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

ИСМАИЛОВ Т.А., ЕВДУЛОВ О.В., АБДУЛХАКИМОВ У.И.

Среди большого количества физических факторов, используемых в лечебной и косметологической практике, важную роль занимают средства и методы теплового воздействия [1]. Под воздействием тепла кровеносные и лимфатические сосуды расширяются, что улучшает кровообращение в организме. Данное обстоятельство приводит к активизации обмена веществ и качественному насыщению организма питательными веществами и кислородом. Термовоздействие стимулирует окисление

жира, очищает организм, выводя через пот вредные токсины и другие продукты жизнедеятельности, тем самым способствуя улучшению состояния кожи. Криовоздействие обладает сильным омолаживающим эффектом, разглаживает морщины, устраняет распространение угревой сыпи и акне, целюлитные отложения, сглаживает рубцы, удаляет кожистые образования, папилломы и доброкачественные опухоли. Охлаждающие маски снимают отечность лица, моделируют его форму, разглаживают морщины и улучшают цвет.

В связи с изложенным разработана автоматизированная система для проведения тепловых косметологических процедур [2], реализующая как равномерное, так и контрастное действие высокими и низкими температурами на лицо пациента. Внешний вид прибора (воздействующей части, баз блока управления) показан на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид воздействующей части системы для проведения тепловых косметологических процедур

В его состав входит основание, выполненное в виде маски, повторяющей контуры лица человека с отверстиями в области глаз, носа и рта. В лобной и щечной областях с внутренней стороны основания расположены зоны теплового воздействия, исполнительным элементом которых являются термоэлектрические модули (ТЭМ), для создания равномерного теплового потока контактирующие с тепловыравнивающими пластинами.

ТЭМ подключаются к программируемому источнику постоянного тока, реализующему различные режимы работы модулей (охлаждение, нагрев, их чередование) в зависимости от вида косметологической процедуры. Доза и длительность теплового воздействия определяется врачом-косметологом, им же производится текущий контроль за состоянием пациента.

Были проведены экспериментальные исследования опытного образца системы. Получены зависимости изменения во времени температуры в контрольных точках прибора (зонах теплового воздействия) при равномерных и контрастных процедурах. Результаты измерений представлены на рис.2-3.

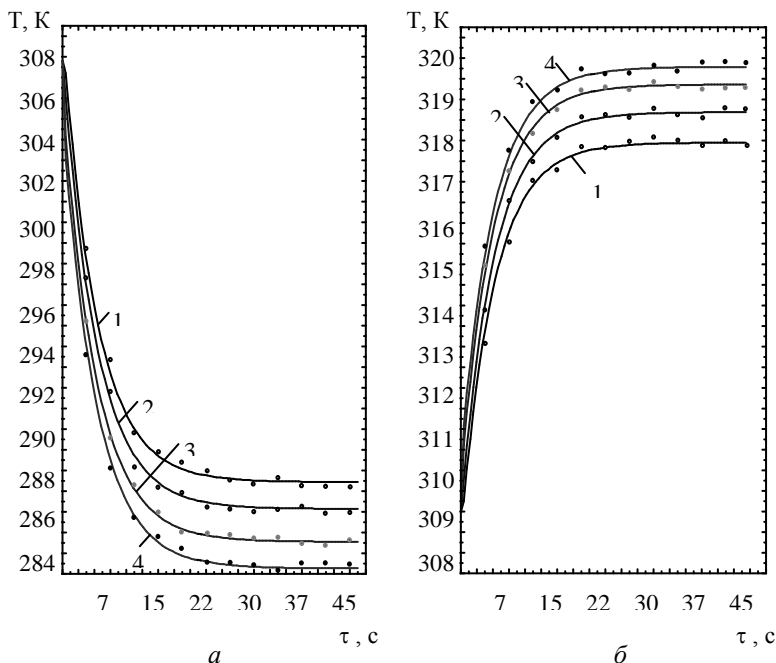


Рис. 2. Изменение температуры тепловыравнивающей пластины во времени при охлаждающем (а) и нагревающим (б) воздействии для различных значений тока питания ТЭМ

На рис. 2 представлены зависимости изменения во времени температуры тепловыравнивающей пластины, приводимой в контакт с лицом человека при охлаждающем (рис. 2, а) и нагревающим воздействии (рис. 2, б) для значений тока питания ТЭМ, соответственно равных 2,5 А (кривая 1); 3 А (кривая 2); 3,5 А (кривая 3); 4 А (кривая 4) и 1 А (кривая 1); 1,5 А (кривая 2); 2 А (кривая 3); 2,5 А (кривая 4).

Как следует из приведенных зависимостей продолжительность выхода в стационарный режим системы составляет для работы прибора в режиме охлаждения порядка 5 мин и для работы прибора в режиме нагрева – 4 мин.



При этом увеличение значения питающего ТЭМ тока приводит соответственно к уменьшению температуры биологического объекта при работе прибора в режиме охлаждения и увеличению его температуры при работе прибора в режиме нагрева, что соответствует увеличению холодо- и теплопроизводительности модулей.

Здесь следует отметить, что представляется целесообразным вывод системы на рабочий режим до проведения косметологических процедур с целью повышения их комфортности. Указанное может быть реализовано путем предварительного охлаждения (нагрева) основания и уже затем по достижению требуемых температур его наложения на лицо человека.

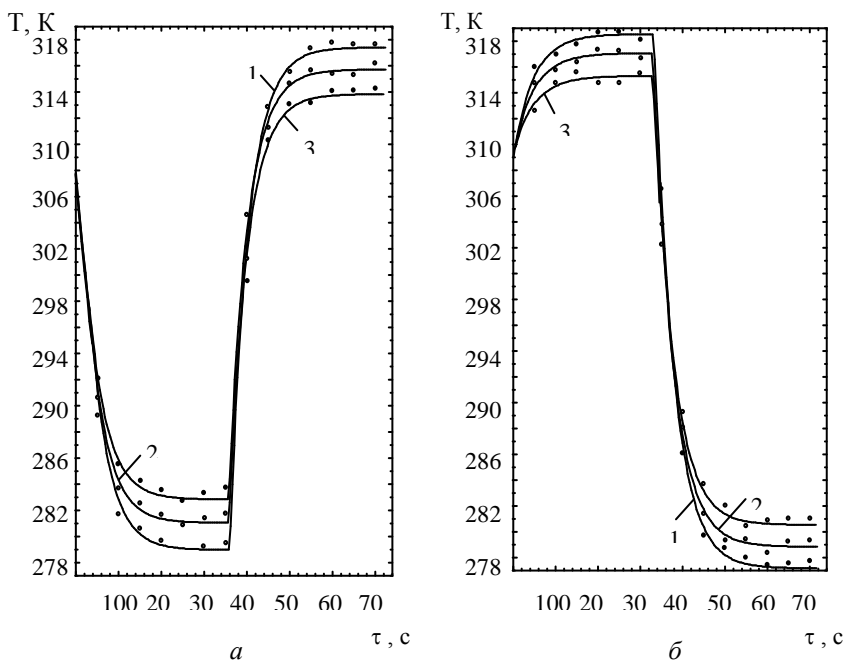


Рис. 3. Изменение температуры тепловыравнивающей пластины во времени при контрастном динамическом тепловом воздействии с переходом ТЭС из режима охлаждения в режим нагрева (а) и с из режима нагрева в режим охлаждения (б) для различных значений тока питания ТЭМ

На рис.3 приведены зависимости изменения температуры тепловыравнивающей пластины во времени при смене режимов работы прибора. В первом случае (рис. 3, а) результаты представлены для токов питания ТЭБ 1 А (кривая 1), 1,5 А (кривая 2), 2 А (кривая 3), во втором случае

(рис. 3, б) – для токов 1,7 А (кривая 1), 2 А (кривая 2), 2,3 А (кривая 3). В обоих случаях продолжительность переходного процесса с режима охлаждения на режим нагрева и наоборот составляет порядка 5 мин, что, с одной стороны превосходит существующие аналоги, реализующие комбинированные тепловые процедуры, выполненные например, на основе компрессионного охлаждения и электрического нагрева, но с другой стороны требует дальнейшей оптимизации в части сокращения продолжительности перехода с одного режима на другой.

**Литература. 1.** Зубкова С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация, 2011. № 6. С. 3-10. **2.** Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Евдулов Д.В., Абдулхакимов У.И., Ахмедов Б.И. Термоэлектрическое устройство для косметологических процедур на лицо человека / Патент РФ на изобретение № 2562509, опубл. 10.09.2015, Бюл. №25.

*Реквизиты для справок. Россия, 367015, Махачкала, пр. Имама Шамиля 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», кафедра теоретической и общей электротехники, к.т.н., доцент Евдулов О.В. – ole-ole-ole@rambler.ru, тел. (8722)628269.*

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА МИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

**ЕРМАКОВ А.В., ЯКУНИН А.Г.**

Электромиография (ЭМГ) – это метод изучения биоэлектрических процессов, развивающихся в мышцах людей и животных во время различных двигательных реакций. Метод основан на записи биопотенциалов скелетных мышц. Запись колебаний мышечных потенциалов производится специальными приборами – электромиографами различных типов.

Хотя электромиограммы отражают только колебания потенциалов, которые развиваются непосредственно в мышце, все же по их качественным и количественным особенностям можно судить также о нормальном или патологическом состоянии центральной нервной системы (ЦНС), регулирующей все виды двигательной активности человека.

В настоящее время электромиографические данные могут оказать существенную помощь при диагностике ранних стадий заболевания и при легких повреждениях нейромоторной системы.

Принципы техники отведения и регистрации ЭМГ не отличаются от техники электрокардиографии (ЭКГ), электроэнцефалографии (ЭЭГ) и других электрографических методов. Система состоит из электродов, отводящих потенциалы мышцы, усилителя этих потенциалов и регистрирующего устройства[1].

На рисунке 1 приведена общая структурная схема типичного миографа.

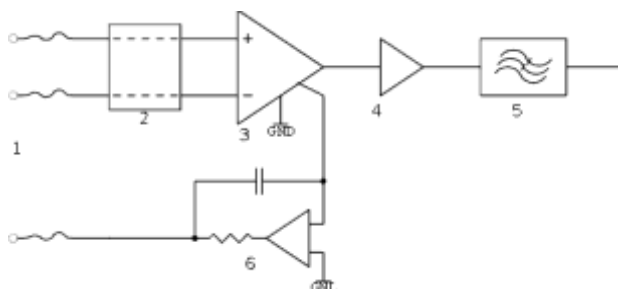


Рис. 1. Общая структурная схема миографа

1 – электроды, 2 – защитная цепочка, 3 – инструментальный операционный усилитель, 4 – операционный усилитель, 5 – ФНЧ 3-го порядка с частотой отсечки 49 Гц, 6 – компенсатор синфазной помехи

**Целью работы** является разработка программно-аппаратного комплекса для исследования методов анализа и обработки электромиографических сигналов и выбора наиболее оптимальных алгоритмов при решении различных задач, связанных с использованием таких сигналов.

Аппаратный блок комплекса рассчитан на снятие миографического сигнала с кожи человека. Типичное значение амплитуды биопотенциалов на коже составляет 20-50 мВ[2,3]. При этом снимается дифференциальный сигнал, то есть разность потенциалов между двумя электродами. В работе используются одноразовые накожные электроды, используемые в медицине для снятия электромиограмм и иногда – электрокардиограмм. Они имеют большую площадь отведения (около 1 см<sup>2</sup>) и совместимы с имеющимися коннекторами, припаянными к кабелю.

От электродов до платы устройства в качестве кабеля отведения для минимизации индустриальных помех используется простая витая пара без экрана и даже без защитной оболочки[4,5]. Использование экранированного провода было признано нецелесообразным, поскольку кабель подключен к первичному измерительному преобразователю ADS1298 и его производитель – компания Texas Instrument, рекомендует использовать либо специализированный кабель от медицинского электромиографа, либо, при его отсутствии – именно витую пару.

Микросхема ADS1298 является восьмиканальным 24-х разрядным мал шумящим АЦП с частотой дискретизации от 250 отсчетов до 32000 отсчетов в секунду. Вывод данных и управление режимом работы преобразователя осуществляется через SPI-совместимый интерфейс. Для работы был применен готовый OEM-модуль с установленным на него преобразователем ADS1298, представляющий собой готовый набор разработ-

чика, выполненный в виде функционально законченного блока, имеющего всю необходимую обвязку для работы микросхемы.

Модуль подключается к компьютеру через конвертер SPI-USB. Поскольку в сигнале, считываемого с преобразователя, присутствует много высокочастотных помех, он предварительно очищался от шума программным низкочастотным фильтром (ФНЧ). В качестве такового использовался фильтр Чебышева II рода 4 порядка с частотой среза 49 Гц. Его отличительной особенностью является крутой спад амплитудно-частотной характеристики (АХЧ) и хорошее подавление частот вне полосы пропускания, достигающее -40 дБ уже на частоте 63 Гц.

После прохождения через ФНЧ входной миографический сигнал проходит дальнейшую обработку. Резкие изменения сигнала сглаживаются медианным фильтром с весовыми коэффициентами (1,0,1). Этот фильтр особенно эффективен против резких шумовых скачков сигнала, которые прошли сквозь другие программные и аппаратные фильтры.

Программное обеспечение (ПО) было разработано на языке Python3. Для работы с сигналом используются оптимизированные научные библиотеки, такие как NumPy[6] и SciPy[7]. Первая расширяет возможности языка, позволяя работать с многомерными математическими матрицами, вторая – предоставляет реализацию множества алгоритмов для обработки данных.

Таким образом, созданный программно-аппаратный комплекс предоставляет возможности по снятию и предобработке миографического сигнала. Он может применяться для исследований амплитудных, частотных и временных характеристик сигнала и анализа методов обработки сигналов, в частности, при разработке и совершенствовании систем биоэлектрического управления протезами[8]. Работоспособность комплекса была проверена экспериментально на двух субъектах. Пример наблюдаемых с его применением сигналов (исходного и прошедшего предварительную обработку низкочастотным и медианным фильтрами) показан на рисунке 2.

**Литература.** 1. Зайченко К. В., Жаринов О.О. Съём и обработка биоэлектрических сигналов: Учеб. пособие/Под ред. К. В. Зайченко. СПбГУАП. СПб., 2001.-140с.: ил. ISBN 5-8088-0065-X. 2. Peter Konrad. The ABC of EMG A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography – Version 1.4 March 2006 ISBN 0-9771622-1-4. 3. Теория и проектирование диагностической электронно-медицинской аппаратуры: Учеб.пособие /Ахутин В. М. и др. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 4. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем./ И.П. Кужекин; Под ред. Б.К. Максимова. – М.: Энергоатомиздат, 1995.-304 с. 148 с. 5. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с. 6. Python Numpy Tutorial [Электронный ресурс]. Python Numpy Tutorial – Режим

доступа: <http://cs231n.github.io/python-numpy-tutorial>, свободный (дата обращения:01.05.2017). 7. SciPy Tutorial [Электронный ресурс]. SciPy Tutorial – SciPy v0.19.0 Reference Guide – Режим доступа: <https://docs.scipy.org/doc/>, свободный (дата обращения:01.05.2017). 8. Славущий Я.Л. Физиологические аспекты биоэлектрического управления протезами. – М.: Медицина, 1982. – 289 с.

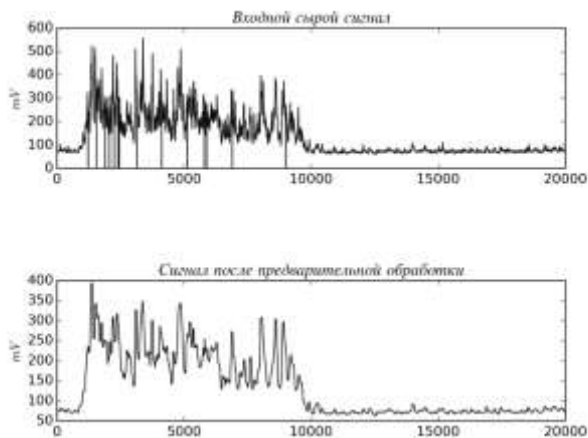


Рис. 2. Фильтрация миографического сигнала медианным фильтром

**Реквизиты для справок:**Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46 Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, д.т.н., профессору Якунину А.Г., тел. (385-2) 29-07-89. E-mail: [yakunin@agtu.secna.ru](mailto:yakunin@agtu.secna.ru).

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ВОДЕ, ОСНОВАННОГО НА ИЗМЕНЕНИИ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

МОИСЕЕВА А. А., КОНЮШЕНКО Ю. С., ЗРЮМОВА А. Г.,  
ПРОНИН С. П.

Создание высокочувствительных систем для контроля различных веществ в воде всегда была и остается важной и актуальной задачей.

В последние годы много исследований в данной области связано с разработкой систем, где в качестве сенсора выступает какое-либо свойство биологического объекта или системы.

В АлтГТУ были разработаны системы контроля всхожести зерна пшеницы, основанные на изменении мембранного потенциала [1,2].

Было замечено, что мембранный потенциал изменяется в зависимости от качества зерна пшеницы [3]. Так при измерении мембранного потенциала у зерен пшеницы высокой и низкой всхожести, пророщенных в одинаковых условиях, его значение отличается до 30%, при этом также учитывается вид зерна.

Анализ полученных данных позволил предположить, что такие отличия в значениях мембранного потенциала у зерна связано с различным уровнем проницаемости мембраны оболочки зерна и разного потока ионов K, Na и Cl через мембрану. В ходе экспериментальных исследований удалось установить, что мембранная проницаемость также зависит от концентрации ионов на внешней оболочке зерна пшеницы [4]. Биологическая мембрана постоянно пропускает потоки различных растворенных веществ внутрь клетки и обратно. Причем, поток вещества будет всегда направлен в сторону более низкого электрохимического потенциала клетки [5].

Можно предположить, что если растворенное вещество будет оказывать агрессивное воздействие на мембрану, то она будет излишне пропускать или наоборот блокировать переход ионов K, Na и Cl, и мембранный потенциал у зерен пшеницы будет изменяться некоторым образом в зависимости от концентрации растворенного вещества.

Для подтверждения данной гипотезы были проведены экспериментальные исследования. Зерна пшеницы «Алтайский янтарь» со всхожестью 96% проращивались в дистиллированной воде, а также воде с содержанием бенз(а)пирена различной концентрации при температуре 22°C в лабораторной установке, представленной на рисунке 1. Через 12 часов у пророщенных зерен с помощью электродной системы и платы сбора данных Ла-50 измерялся мембранный потенциал [1,2].



Рис. 1. Экспериментальная установка  
Условные обозначения: 1 – каркас установки; 2 – отверстия для рук;  
3 – резиновые перчатки; 4 – пластиковое окно

Бенз(а)пирен представляет собой полициклический ароматический углеводород. Является химическим канцерогеном окружающей среды, опасным для человека даже при малой концентрации. Благодаря свойству химической устойчивости, бенз(а)пирен обладает способностью перемещения из одних объектов в другие. Кроме этого он способен накапливаться в клетках растений и двигаться по пищевым цепочкам. Учитывая канцерогенные свойства данного химического соединения, можно предположить, что значительные концентрации бенз(а)пирена в воде, должны изменять свойства мембраны зерна в ней пророщенного.

Изменения мембранного потенциала у зерен пшеницы, пророщенных в воде с содержанием бенз(а)пирена, представлены на рисунке 2.

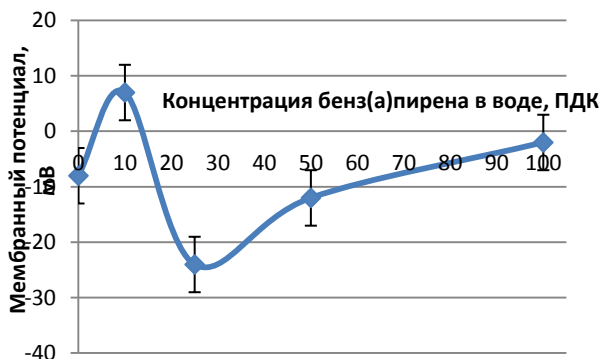


Рис. 2. Изменение мембранного потенциала зерен пшеницы в зависимости от концентрации бенз(а)пирена в воде

Из рисунка видно, что бенз(а)пирен изменяет величину мембранного потенциала зерна. Если мембранный потенциал зерна, пророщенного в дистиллированной воде составил -7мВ, то в воде с содержанием 10ПДК бенз(а)пирена он возрастает на 14 мВ, а при концентрации в 25 ПДК понижается на 38 мВ и составляет -24мВ. С увеличением концентрации бенз(а)пирена мембранный потенциал с учетом погрешности измерения достигает нулевого значения.

Измерения и расчет мембранного потенциала зерна проходил только в начальной фазе, поэтому воспользуемся логарифмической функцией, соответствующей логарифму Гольдмана – Ходжкина – Катца (1) и вычислим коэффициенты проницаемости для калия, натрия и хлора.

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_o}{P_K[K^+]_o + P_{Na}[Na^+]_o + P_{Cl}[Cl^-]_i} \right), \quad (1)$$

где  $\varphi$  – мембранный потенциал, R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль·К); T – абсолютная температура; F – постоянная Фарадея, равная 96485,35 Кл·моль<sup>-1</sup>;

$P_K, P_{Na}, P_{Cl}$  – коэффициенты проницаемости для ионов  $K^+, Na^+, Cl^-$ ;  $[K^+]_{out}, [Na^+]_{out}, [Cl^-]_{out}$  – концентрации ионов на внешней стороне мембраны;  $[K^+]_{in}, [Na^+]_{in}, [Cl^-]_{in}$  – концентрации ионов внутри мембраны.

Учитывая нулевую концентрацию ионов  $[K^+]_{out}, [Na^+]_{out}, [Cl^-]_{out}$  уравнение (1) примет вид:

$$\varphi_1 = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in}}{(1 - P_K)[K]_{in} + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in}}. \quad (2)$$

На рисунке 3 представлена зависимость изменения проницаемости мембраны калия, натрия и хлора зерна пшеницы всхожестью 96%, пророщенных в дистиллированной воде (на графике обозначена “0”) и воде, содержащей 10, 25, 50 и 100 постоянно допустимых концентраций бенз(а)пирена.

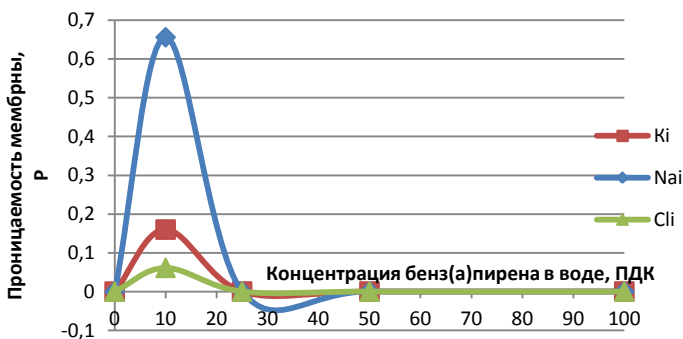


Рис. 3. Изменение коэффициентов проницаемости в зависимости от концентрации бенз(а)пирена в воде

Анализ полученных результатов показал, что бенз(а)пирен значительно изменяет коэффициенты проницаемости мембраны. Для более детального анализа рассмотрим изменения коэффициентов проницаемости для каждого вида воздействия. На рисунке 4 представлены изменения коэффициентов проницаемости калия, натрия и хлора для каждого типа воздействия.

В литературе отношение коэффициентов проницаемости для калия, натрия и хлора составляет 1:0,04:0,88 соответственно. При проращивании зерна пшеницы в дистиллированной воде (рисунок 4-а) были получены коэффициенты проницаемости практически совпадают с ранее полученными и составляют 1:0,06:0,9, соответственно.

При проращивании зерна в воде, содержащей бенз(а)пирен (рисунок 4-б,в), коэффициенты сильно искажаются: коэффициенты проницаемости при 10 ПДК – 1,00:4,10:0,38; коэффициенты проницаемости при 25 ПДК – 1,00:0,43:0,34; коэффициенты проницаемости при 50 ПДК –



1,00:0,14:0,06; коэффициенты проницаемости при 100 ПДК – 1,00:0,15:0,07.

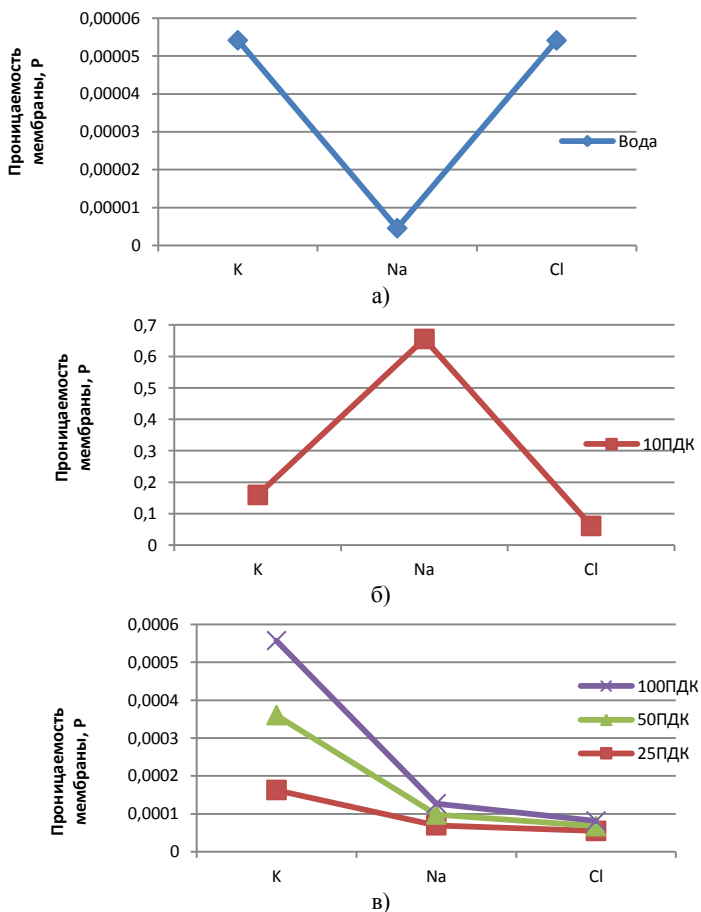


Рис. 4. Изменение коэффициента проницаемости для калия, натрия и хлора при проращивании в дистиллированной воде (а), в воде с содержанием бенз(а)пирена (б-в)

**Вывод.** Экспериментальные исследования подтвердили гипотезу о том, что мембранный потенциал зерна пшеницы реагирует на примеси, содержащиеся в воде, что отражается на изменении коэффициентов проницаемости мембраны. Таким образом, зерно пшеницы «Алтайский янтарь» со всхожестью 96%» можно использовать в качестве биоиндикатора.

**Литература.1.** Шереметьев М.В., Зырянов А.А., Мерченко Н.Н., Зрюмова А.Г., Пронин С.П. Экспериментальная установка для исследования потенциала действия зерен пшеницы // Ползуновский альманах. – 2011, – № 1. – С.177–178. **2.** Пронин С. П., Зрюмова А. Г., Мерченко Н. Н., Башук Л.М., Гребенникова И.А., Каратеева А.Н. Исследования изменения потенциала действия зерна пшеницы // Ползуновский альманах. – 2010, – № 2. – с. 204-206. **3.** Выдыш А. Ю., Пронин С. П., Зрюмова А. Г., Разработка регрессионной модели всхожести зерна пшеницы по экспериментальным данным изменения потенциала действия [Текст] / А. Ю. Выдыш, С. П. Пронин, А. Г. Зрюмова // Ползуновский альманах. – 2012. – № 2. – С. 165-166: ил. – Библиогр.: с. 166 . **4.** Мерченко Н.Н., Пронин С.П. Зависимость мембранного потенциала зерна пшеницы от концентрации ионов на внутренней стороне оболочки и её проницаемости // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-7. – С. 1539-1544. **5.** Медведев, С.С. Электрофизиология растений: учебное пособие [Текст] / С. С. Медведев, – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 1997.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, д. 46. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доценту Зрюмовой Анастасии Геннадьевне, тел. (3852) 29-09-13, e-mail: a.zrumova@mail.ru*

## **СОЗДАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ГОРОДА**

**СУТОРИХИН И.А., ТУЛИН Н.Ю., КРАСИКОВ А.А.**

Шумовое загрязнение окружающей среды не менее опасно, чем другие виды антропогенного воздействия [1]. Кроме шума в современном городе на человека существенное влияние оказывают инфразвук, ультразвук, а также вибрации от различных источников (стационарное оборудование, транспорт как наземный, так и подземный). Воздействие инфразвука, ультразвука, шума, вибрации на человека интенсивно изучается. Значительная часть населения города проживает в условиях виброакустического дискомфорта. Виброакустическое загрязнение оказывает влияние на здоровье населения, ведет к ухудшению качества жизни, снижению работоспособности. На сегодняшний день основным и источниками виброакустического загрязнения в городе является транспорт, так же существенный вклад вносят промышленные предприятия, расположенные вблизи жилой застройки.

Основными целями работы являются: исследование распределения уровней виброакустических факторов на основных магистралях города; создание математической модели расчета уровней виброакустических

параметров с учетом застройки и зеленых насаждений; наложение распределения виброакустических параметров на карту города.

Замеры производились на территории жилой застройки в нескольких точках на разных удалениях от магистрали. Один метр от первой полосы автомобильного движения, семь метров, внутри жилой застройки тридцать метров от полосы движения и шестьдесят метров от первой полосы, на противоположной стороне магистрали замеры аналогичные.

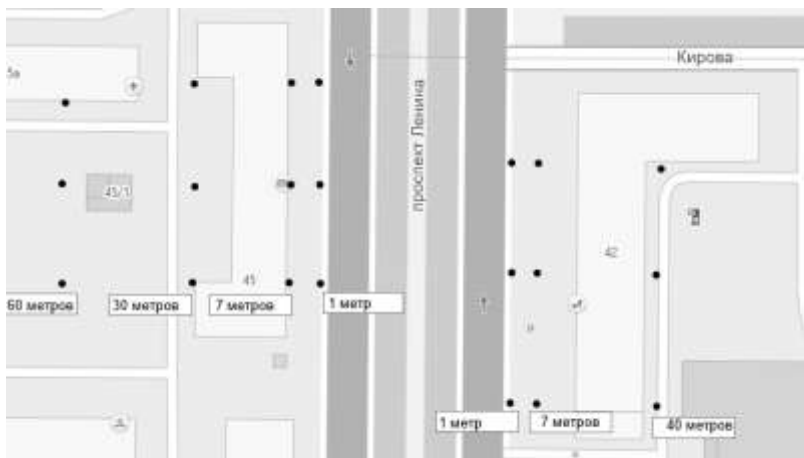


Рис. 1. Расположение точек замеров виброакустических параметров

Для проведения инструментальных замеров уровней виброакустических факторов используется шумомер, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А, виброметр ОКТАВА-101ВМ.

На первом этапе определены порядки величин, характеризующих шум (рис.2), инфразвук (рис.3), ультразвук, вибрацию на территориях, прилегающих к жилой застройке. Определена зависимость затухания уровней виброакустических факторов при удалении от транспортной магистрали. Результаты измерений превышают гигиенические нормативы [2,3].

Дальнейшие исследования предполагают построение более четкой картины уровней виброакустических параметров на наиболее загруженных магистралях города Барнаула. Формирование математической модели для создания геоинформационной системы виброакустического загрязнения города.

**Литература. 1.** Суторихин И.А., Литвиненко С.А. Геоинформационная система контроля уровня шумового загрязнения индустриального центра / И.А. Суторихин, С.А. Литвиненко – Барнаул: АЗБУКА, 2011. – 76 с. **2.** ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий. / М.:

Стандартинформ, 2015. – 18 с. 3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 36). / М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20 с.

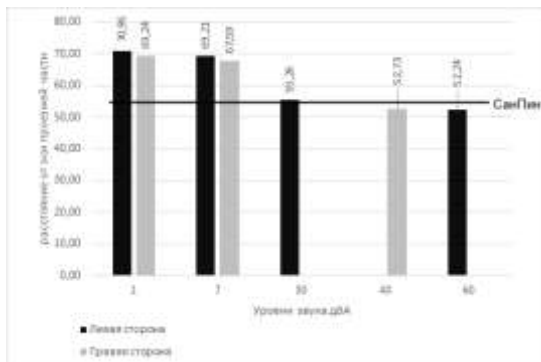


Рис. 2. Уровни звука

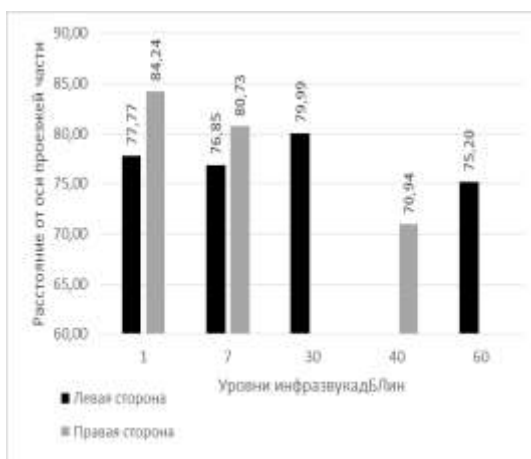


Рис. 3. Уровни инфразвука

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодёжная 1, Институт водных и экологических проблем СО РАН, доктору физико-математических наук, профессору, Суторихину И.А., тел. (385-2) 66-65-02, e-mail: sia@iwer.ru

Россия, 656038, Барнаул, пер. Некрасова 65, Институт гигиены труда и промышленной экологии ФГБОУ ВО «АГМУ» МЗ РФ, заведующему лабораторией Тулину Н.Ю., тел. +79132235097, e-mail: none184@ya.ru

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОРИЕНТИРОВАНИЯ В УНИВЕРСИТЕТСКОМ КАМПУСЕ

АЛЕКСЕЕВ А.В., СУЧКОВА Л.И.

Проблема ориентации и поиска объектов различного назначения в зданиях и группах зданий в настоящее время является актуальной проблемой, так как, с одной стороны, требуется обработка геоинформации, а с другой стороны, необходим учет специфики деятельности отделов и организаций, находящихся в зданиях. С данной проблемой сталкиваются первокурсники, поступившие в новое для себя учебное заведение, вынужденные тратить много времени на поиск нужных аудиторий, точек питания, специализированных отделов и служб вуза. В связи с этим разработка мобильного приложения, помогающего в ориентировании на незнакомых распределенных объектах и в получении необходимой информации о функционировании таких объектов, является важной задачей.

На основе анкетирования первокурсников был выделен перечень информационных запросов, связанных со структурой университетского кампуса:

- 1) информация об объекте, или же о маршруте к объекту (аудитория, точка питания, административное подразделение);
- 2) информация о работе служебных подразделений администрации вуза;
- 3) информационная помощь в решении бытовых студенческих проблем;
- 4) информации о предстоящих культурных или учебных мероприятиях в вузе.

Для предоставления данной информации было разработано многофункциональное приложение на платформе Android с интуитивно понятным и простым интерфейсом, позволяющее отображать карты корпусов, этажей АлтГТУ, а также предоставлять как информационные услуги, так и геозависимую информацию студенту-первокурснику.

Для хранения информации была спроектирована и реализована база данных SQLite 3. Интерфейс платформы разработки ,а так же языка Java позволяет создать файл DBHelper, который является наследником класса SQLiteOpenHelper, имеет свои жизненные циклы и методы для SQL запросов, при создании, обновлении, удалении базы данных. Логическая модель базы данных создавалась в Toad Data Modeler Freeware, затем посредством выполнения SQL скрипта создана физическая модель в SQLite Studio, которая так же находится в свободном доступе для работы на платформе Android.

При работе с приложением пользователь работает с интерактивным меню, включающим следующие пункты:

- 1) Маршрут между корпусами;
- 2) Свободное ориентирование;
- 3) Точки питания;
- 4) Точки оказания канцелярских услуг;
- 5) Просмотр информации об административных службах;
- 6) Маршрут до учебных аудиторий;
- 7) FAQ – ответы на часто задаваемые вопросы студентов-первокурсников.

Маршрут до нужного корпуса можно опередить 2 способами – как вручную, так и посредством поиска по GPS. Чтобы строить маршрут до выбранных точек, была нарисована схема корпусов университетского кампуса в векторном редакторе Corel DrawX6, далее были составлены соответствующие списки координат. Для вывода изображения использовалась стандартная библиотека Bitmap, которая позволяет расположить изображения на экране в одном слое, а также отобразить аудитории и имена объектов. Для отрисовки маршрутов использовалась стандартная библиотека построения линий Drawable. Для определения наилучшего кратчайшего пути, была подключена библиотека алгоритма Floyd-Warshal. В связи с его использованием, были составлены веса заданных точек.

При свободном ориентировании доступен просмотр все объектов выбранного корпуса, этажа с выводом информации о данном объекте. Если осуществляется работа с информацией о различных службах, то пользователю приложения предоставляется возможность сделать звонок в выбранную службу (деканат, медпункт и т.п.).

Разработанное приложение имеет следующие достоинства:

- 1) Способность быстро подсказать маршрут до нужных аудиторий, точек в корпусах кампуса;
- 2) Размещение всей информации о структуре и деятельности служб университетского кампуса в одном приложении;
- 3) Возможность обновлять предоставляемую информацию без особых денежных затрат;
- 4) Возможность составления списка типовых вопросов студента для предоставления информации о путях решения ранее возникавших проблем.

**Литература:** 1. Developer Android Studio [электронный ресурс]: Официальный сайт. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <https://developer.android.com/guide/topics/data/data-storage.html>. 2. Gs.statcounter.com: Desktop vs Mobile vs Tablet Market Share Worldwide [электронный ресурс]: Официальный сайт. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://gs.statcounter.com/platform-market-share/desktop-mobile-tablet>. 3. Gs.statcounter.com: Mobile Operating System Market Share in Russian Federation [электронный ресурс]: Официальный сайт. – Электрон. текст. дан.

– Режим доступа: <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/russian-federation/#monthly-201404-201704>

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, ул. Ленина 46, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, студент Алексеев А.В., тел. (8-929-393-92-11). E-mail: [antonalekseev@gmail.com](mailto:antonalekseev@gmail.com).

## **РАСПОЗНАВАНИЕ ЛИЦ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ БИНАРИЗАЦИЕЙ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ ОТСУ**

КРАСНОСЛАБОДЦЕВ Р.А.

В последние десятилетия теория и методы компьютерного зрения получили большое развитие и распространение. Наличие многочисленных коммерческих систем распознавания графических объектов свидетельствует о значительном прогрессе, достигнутом в данной области. Несмотря на это, распознавание лиц продолжает оставаться активной темой во многих исследованиях. Прежде всего, это связано с тем, что большинство существующих систем жестко привязаны к определенным качествам входного сигнала, таким как статическое положение лица на фотографии, заданный угол освещения и т.д.

На сегодняшний день основной целью исследований теории компьютерного зрения является разработка системы распознавания, которая могла бы обладать возможностями визуального восприятия человека. Средством достижения данной цели является использование искусственных нейронных сетей. Частично моделируя работу мозга, программная реализация нейронной сети способна решать нестандартные задачи работы с графикой, для которых практически невозможно придумать алгоритм решения. Уже сегодня реализованы сети, способные писать стихи, рисовать картины и раскрашивать черно-белые фотографии.

Вместе с тем, недостаточно внимания уделено предварительной обработке входных сигналов при обучении сети. В частности, для непосредственной фильтрации используются двумерное преобразование Фурье и вейвлет-преобразования [1]. Ввиду недостаточной освещенности этого вопроса необходимо исследовать возможности различных фильтров входных данных искусственной нейронной сети.

В данной работе рассматривается нейронная сеть с классическим алгоритмом обратного распространения ошибки с простыми модификациями обучения первого порядка, без использования аппроксимаций вторых производных ошибки по параметрам сети [2] и метод Отсу [3], как способ вычисления оптимального порога последующей бинаризации сигнала в качестве фильтра. На вход нейронной сети будем поочередно подавать исходное изображение и изображение, полученное в результате бинари-

зации по методу Отсу. Следующим шагом проследим зависимость появления ошибки распознавания от фильтрации входных данных.

В качестве обучающей выборки взята ORL база лиц [4], часто используемая для тестирования алгоритмов распознавания. На рисунке 1 представлена часть исходных фотографий из базы без применения фильтров.



Рис. 1. Пример входных данных искусственной нейронной сети

Изображения имеют размеры  $92 \times 112$  точек с 256 градациями оттенков серого. Вся обучающая выборка состоит из 149 фотографий лиц пяти людей. Предполагаемый результат работы сети – определение принадлежности лица к одному из пяти имеющихся классов человеческих лиц по тестирующей выборке.

Кратко рассмотрим исходный алгоритм фильтрации. Пусть дано монохромное изображение  $G(I)$ , где  $I$  – количество уровней яркости. Идея фильтра заключается в непосредственной сегментации изображения с помощью порогового значения. Иначе говоря, рассматриваемый фильтр – это сопоставление значения яркости каждого пикселя с заданным значением порога и отбрасывание этого пикселя при необходимости.

С помощью метода Отсу вычислим оптимальный порог  $t$ , минимизирующий среднюю ошибку сегментации, т.е. среднюю ошибку принятия решения о принадлежности пикселей изображения объекту или фону.

Значения яркостей пикселей изображения можно рассматривать как случайные величины, а их гистограмму – как оценку плотности распределения вероятностей. Если плотности распределения вероятностей известны, то можно определить оптимальный (в смысле минимума ошибки) порог для сегментации изображения на два класса  $c_0$  и  $c_1$  (лицо и фон) [5].

Описание алгоритма:

1. Вычислим гистограмму изображения  $p(I)$ .
2. Определим некоторое начальное пороговое значение  $t = 1$ .
3. Для текущего порога вычислим значения относительной частоты каждого класса  $\omega_0$ ,  $\omega_1$  по формулам (1) и (2).

$$\omega_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} p(i)}{\sum_{i=0}^{\max(G)} p(i)} \quad . \quad (1)$$



$$\omega_1(t) = 1 - \omega_0(t) \quad . \quad (2)$$

4. Для текущего порога вычислим средние арифметические значения для каждого класса изображения  $\mu_T$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_1$  по формулам (3), (4) и (5) соответственно.

$$\mu_T(t) = \frac{\sum_{i=0}^{\max(G)} i \cdot p(i)}{\sum_{i=0}^{\max(G)} p(i)} \quad . \quad (3)$$

$$\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} i \cdot p(i)}{\sum_{i=0}^{\max(G)} p(i) \cdot \omega_0(t)} \quad . \quad (4)$$

$$\mu_1(t) = \frac{\mu_T - \mu_0(t) \omega_0(t)}{\omega_1(t)} \quad . \quad (5)$$

5. Вычислим и запомним величину дисперсии для текущего порога по формуле (6).

$$\sigma_b^2 = \omega_0(t) \omega_1(t) (\mu_0(t) - \mu_1(t))^2 \quad . \quad (6)$$

6. Последовательный перебор значений порога  $t$  до  $\max(G)$  и возврат на третий шаг алгоритма.

7. Поиск максимума из вычисленных дисперсий. Искомый порог соответствует максимуму.

Демонстрация работы алгоритма бинаризации с поиском порога по методу Отсу представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Демонстрация работы алгоритма

Произведем обучение нейронной сети на исходной выборке без применения фильтрации, проследив при этом уменьшение ошибки распознавания. На рисунке 3 представлен график обучения сети. По оси абсцисс отложено количество эпох обучения, по оси ординат ошибка распознавания.

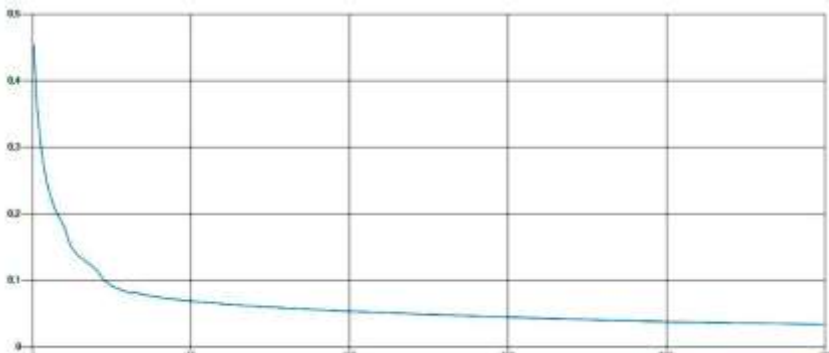


Рис. 3. График обучения нейронной сети без фильтрации входных данных

Обучение прошло успешно, суммарная ошибка постепенно убывала и в итоге составила  $0,02$  для каждой фотографии. Тем не менее, при требованиях высокой точности классификации, подобный результат приводит к существенным ошибкам распознавания в тестирующей выборке. Следующим шагом, произведем фильтрацию входных данных и переобучим сеть на преобразованном сигнале. Результирующий график обучения сети представлен на рисунке 4.

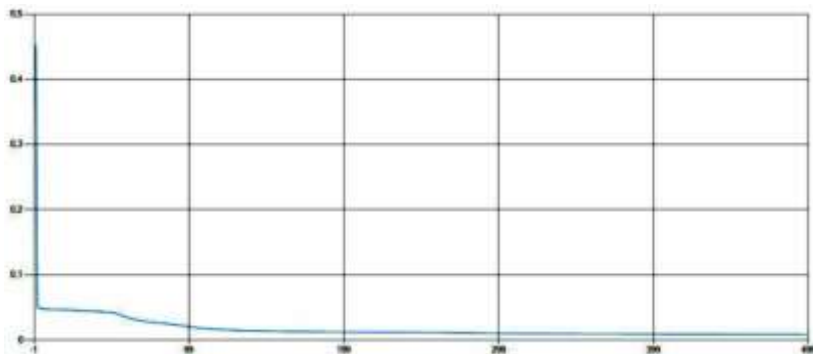


Рис. 4. График обучения нейронной сети с бинаризацией входного сигнала

Из графика видим, что ошибка убывала гораздо быстрее, чем на выборке без фильтрации и в итоге составила  $0,007$  для каждой фотографии. На основе полученных данных можем сделать вывод об актуальности и перспективности предварительной бинаризации входного сигнала для нейронной сети распознавания графических объектов. Путём упрощения изображения, уменьшается количество ошибочных активаций нейронов, точность классификации значительно увеличивается.

В дальнейшем предполагается использовать другие варианты предварительной обработки двумерных сигналов и переход к современному методу обучения нейронной сети Deep Learning.

**Литература:** 1. Гонсалес Р. Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 2005 г., 1070 с. 2. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://af.tusur.ru/learning/010402/d15a/010402-d15a-book1.pdf>. 3. Ping-Sung Liao and Tse-Sheng Chen and Pau-Choo Chung (2001). «A Fast Algorithm for Multi-level Thresholding». J. Inf. Sci. Eng. 17: 713-727. 4. Archive Cambridge University Computer Laboratory. [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/facedatabase.html>. 5. Методы бинаризации медицинских изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://storage.tusur.ru/files/8617/ТУ-1204\\_Методы%20Обинаризации%20медицинских%20изображений.pdf](https://storage.tusur.ru/files/8617/ТУ-1204_Методы%20Обинаризации%20медицинских%20изображений.pdf). 6. Соيفер В. Методы компьютерной обработки изображений. М., Физматлит, 2003 г., 784 с. 7. Mawloud Guermoui, Mohamed. L. Mekhalfi. A Sparse Representation of Complete Local Binary Pattern Histogram for Human Face Recognition [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1605/1605.09584.pdf>

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, ул. Ленина 46, АлтГТУ им. И.И.Ползунова, студент Краснослабодцев Р.А., тел. (8-923-649-56-21). E-mail: roma00712@gmail.com

## **5 ЭЛЕМЕНТЫ, УСТРОЙСТВА И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

### **КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ МОД КОЛЬЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА**

БЕССОНОВ А.С.

В настоящее время происходит интенсивное развитие автоматизированных оптико-электронных измерительных систем (ОЭИС). Развиваются и появляются новые методы измерений и алгоритмы обработки данных, используются современные аппаратные и программные средства.

При проектировании ОЭИС необходимым становится компьютерное моделирование, для чего используются различные специализированные и универсальные программные средства. Среди универсальных средств системного моделирования и разработки следует в первую очередь выделить технологию виртуальных приборов [1], наиболее полно реализованную в среде графического программирования LabVIEW. Эта среда обеспечивает возможность математического и алгоритмического моделирования на всех стадиях проектирования ОЭИС с созданием программного обеспечения и его интеграцией с аппаратной частью системы.

Предлагаемый доклад посвящен описанию компьютерных моделей кольцевого резонатора (КР), который является объектом измерения для автоматизированной системы юстировки и измерения потерь зеркал [2, 3], используемой при производстве кольцевых лазеров (КЛ). Рассматриваемые модели разрабатываются на ранних стадиях проектирования, к которым относятся анализ предметной области и концептуальная и математическая постановки задач. Будучи выполненными в виде исполняемых приложений, модели оказываются полезными и на более поздних этапах жизненного цикла системы.

Гелий-неоновый КЛ ( $\lambda = 632$  нм) и его КР представляют собой сложные для моделирования объекты. Поэтому на практике их полные (глобальные) модели не используются, а применяются частные модели, отражающие то или иное интересующее в данный момент свойство. В системах юстировки и измерения потерь зеркал КР происходит периодическая перестройка резонатора по оптической частоте, в процессе которой происходит генерация излучения на той или иной моде. Конструкция резонатора такова, что моды высоких порядков подавляются, однако при юстировке их можно наблюдать и измерять потери и селективность КР. Поэтому на стадиях анализа предметной области и концептуального проектирования полезными оказываются модели, демонстрирующие пространственную и временную структуру собственных мод КР.

Пространственное распределение моды излучения различных порядков описывается с помощью математического аппарата Гаусса-Эрмита [4]. Общее выражение для моды с индексами  $m$  и  $n$  имеет вид:

$$S_{mn}(x, y) = H_m\left(\frac{x}{w}\right)H_n\left(\frac{y}{w}\right)\exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2w^2}\right), \quad (1)$$

где  $x, y$  – координаты, поперечные направлению распространения излучения,  $w$  – ширина гауссова пучка, зависящая от продольной координаты  $z$ ,  $H_m, H_n$  – полиномы Эрмита соответствующих порядков.

Математическая модель (1) легла в основу компьютерной модели, лицевая панель которой представлена на рис. 1. В центре расположен трехмерный графический экран, обеспечивающий вращение изображения и очень удобный для изучения пространственной структуры мод высоких порядков. Слева вводятся индексы моделируемой моды и устанавливаются режимы отображения результатов моделирования. Справа показаны сечения при значениях пространственных координат  $x=0$  и  $y=0$ .



Рис. 1. Вид лицевой панели компьютерной модели, демонстрирующей пространственное распределение моды  $TEM_{01}$

Анализ данной компьютерной модели позволил изучить и ясно представить пространственное распределение излучения различных мод, понять присущие им особенности. С помощью модели при последующем исследовании опытного экземпляра ОЭИС можно безошибочно определять, на какую моду настроен измеряемый КР. Для этого надо спроецировать выходящий пучок на какой-либо экран и изучить структуру пятна.

Вторая компьютерная модель демонстрирует распределение мод высоких порядков во времени сканирования пустого КР, что осуществляется с помощью внешнего оптического изучения с перестраиваемой частотой. В модели предполагается, что оптическая частота изменяется линейно, и последовательно в определенном порядке возникают условия резонанса.

нанса для тех или иных мод высоких порядков [4]. Пример такой последовательности показан на рис. 2.

Моделирование формы резонансов интенсивности оптического излучения производится с помощью функции Лоренца. Обозначим через  $M$  количество моделируемых мод, включая основную моду  $TEM_{00}$  р-поляризации (например,  $M=8$  и номера мод  $j=1\dots M$ ). В этом случае значение интенсивности  $I(t_i)$  каждого отсчета прошедшего КР оптического излучения можно рассчитать следующим образом:

$$I(t_i) = \sum_{j=1}^M \frac{a_{0j}}{1 + (t_i - a_{1j})^2 / a_{2j}^2}, \quad (2)$$

где  $t_i$  – моделируемое дискретное время,  $i=1\dots N$ ,  $a_{0j}$  – коэффициент ослабления,  $a_{1j}$  – момент резонанса  $j$ -ой моды,  $a_{2j} = \frac{\sigma_j L}{4\pi c}$ ,  $\sigma_j$  – потери  $j$ -ой моды,  $L$  – периметр резонатора,  $c$  – скорость света.

В модели формируется измерительный сигнал, представленный на рис. 2. В реальной системе подобный измерительный сигнал, имеющий в своем составе также постоянную составляющую, помехи и наводки, вводится в компьютер ОЭИС для программной обработки и определения результата измерений, которыми являются интенсивности и потери.

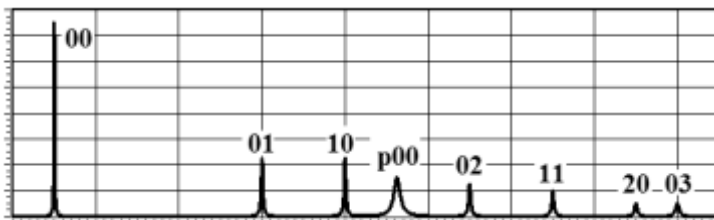


Рис. 2. Результаты моделирования проходящего резонатор излучения с перестраиваемой оптической частотой

В результате моделирования устанавливается порядок следования и расположение мод на временной оси при сканировании КР. Знание этого порядка также необходимо при техническом проектировании системы, при исследовании опытного образца и ее дальнейшей эксплуатации.

При модельном проектировании измерительных систем с использованием технологии виртуальных приборов и среды LabVIEW создается множество компьютерных моделей различной сложности, относящихся к различным стадиям проектирования и оформленных в виде исполняемых приложений. Среди таких моделей следует считать обязательными модели прямой и обратной измерительных задач [5]. Проведение такого моделирования фактически означает разработку алгоритмов и программных модулей обработки данных [3]. Моделирование системы в целом, ее со-

ставных частей и отдельных элементов производится при необходимости.

С другой стороны, широкое использование компьютерного моделирования значительно уменьшает число проектных ошибок и фактически контролирует правильность принимаемых решений в процессе проектирования. И, наконец, компьютерные модели, выполненные в виде имитационных и обучающих программ, фактически являются частью программного обеспечения измерительной системы и полезны для обучения персонала.

**Литература. 1.** Кристальди С. Современная тенденция развития средств измерений: к сетям распределенных виртуальных приборов / С. Кристальди, А. Ферреро, С. Саликоне // Датчики и системы. – 2002. – №11. – С. 52-59. **2.** Динамическая модель и алгоритм коррекции результатов измерения потерь в кольцевых резонаторах / В.В. Азарова, А.С. Бессонов и др. // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVI международной научно-технической конференции. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 68-71. **3.** Бессонов А.С. Имитационное моделирование при создании программного обеспечения компьютерных средств измерений // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 6. – С. 45-50. **4.** Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. – М.: Наука, 1988. – 336 с. **5.** Бессонов А.С. Компьютерное моделирование опико-электронных систем с использованием технологии виртуальных приборов // Приборы. – 2011. – №1(127). – С. 17-25.

**Реквизиты для справок:** Россия, 119454, Москва, пр. Вернадского 78, Московский технологический университет (МИРЭА), к.т.н., доцент Бессонов А.С. – [bessonov@mirea.ru](mailto:bessonov@mirea.ru), тел. (499) 215-65-65 доб. 4045.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСИЛАМПЫ В ЛЮМИНЕСЦЕНТНОМ МЕТОДЕ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ**

ИСТОМИН К. А., КАЛИНИЧЕНКО А.Н.

Контроль люминесцентным методом капиллярной дефектоскопии выполняется в условиях затемнения и требует применения ультрафиолетовых облучателей (УФ-облучателей), так как при контроле люминесцентным методом поверхностные дефекты обнаруживаются по ярко светящимся индикаторным следам, которые образуются на проявляющем покрытии (проявителе) в местах расположения несплошностей. [1] Эффективность свечения индикаторных следов в свою очередь зависит от энергетических характеристик УФ-облучателей и люминофоров входящих в состав люминесцентного пенетранта. В настоящее время в люминесцентном методе контроля широко используются ртутные и светодиодные источники УФ-излучения.

Главным недостатком ртутных УФ-облучателей является наличие ртути в их конструкции. Помимо вредного биологического воздействия, ртутные газоразрядные лампы имеют большие габариты, высокую стоимость, долгий выход на режим, низкий КПД и представляют потенциальную опасность для оператора и экологии окружающей среды.

Ультрафиолетовые осветители на основе светодиодов безопасны для здоровья контролера и экологии окружающей среды, т.к. не содержат паров ртути, обладают небольшим весом, обеспечивают мгновенную готовность к работе, имеют большую интенсивность. Недостатками данной технологии являются малый размер фокусного пятна и относительно высокая стоимость.

В связи с появлением нового класса источников УФ-излучения – эксиламп, появляется возможность свести к минимуму указанные недостатки используемых УФ-облучателей. Эксилампы – это электроразрядные источники спонтанного ультрафиолетового излучения, получаемого за счет распада эксимерных или эксиплексных молекул. Основными преимуществами данного вида УФ-излучения являются отсутствие ртути в колбе, высокий КПД (до 80 % и более общей мощности излучения может быть сосредоточено в относительно узкой полосе соответствующей молекулы), относительно высокая удельная мощность излучения, узкая спектральная полоса излучения, быстрый запуск и выход на режим, возможность масштабирования и выбора произвольной геометрии излучающей поверхности. [2]

На данном этапе исследований, была проведена оценка возможности применения данного вида источников УФ-излучения в люминесцентном методе капиллярного контроля. Исследования проводились путем сравнения эксилампы с другими источниками УФ-излучения, в частности с ртутной УФ-лампой и светодиодным УФ-фонариком. В результате проведения эксперимента, при облучении контролируемых образцов тремя различными источниками УФ-излучения с соблюдением требований проведения люминесцентного капиллярного контроля по II классу чувствительности, получили следующие результаты (рис.1, 2, 3).

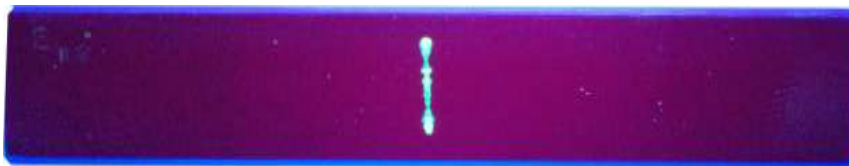


Рис. 1. Результаты контроля полученные при облучении уф-лампой MAGNAFLUX ZB100-F





Рис. 2. Результаты контроля полученные при облучении светодиодным фонарем Labino Torch Spotlight UVG2 (365нм)

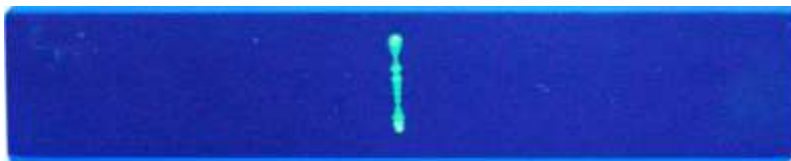


Рис. 3. Результаты контроля полученные при облучении эксилампой XeCl (308 нм)

При облучении УФ-лампой (рис.1) присутствует небольшая засветка, но индикаторные следы хорошо различимы. Облучение светодиодным фонарем (рис.2) малоэффективно при фотофиксации, т.к. присутствует сильная засветка. Предположительно, это обусловлено большой концентрацией мощности в узком пучке и полосой пропускания светофильтра видимой составляющей излучения.

Эксилампа показала себя наилучшим образом при фотофиксации. Как видно из рисунка 3, люминесценция индикаторных следов просматривается хорошо, засветка видимым светом отсутствует. Из недостатков эксилампы можно выделить работу от сети питания 220В, неудобный корпус для осуществления контроля в полевых и лабораторных условиях, лампа имеет колбу из кварцевого стекла, что может приводить к быстрому уменьшению срока службы из-за взаимодействия молекул газовой смеси с кварцем, а также длину волны на 308 нм, что не является оптимальной длиной волны для люминесцентного контроля, но способна обеспечивать неплохое возбуждение люминесцентного пенетранта индикаторных рисунков дефектов.

Проведенное сравнение технических параметров различных источников УФ-излучения и экспериментальные исследования позволяют уверенно констатировать возможность использования эксилампы в люминесцентном методе капиллярного контроля. В дальнейшей перспективе развития эксиламп существует возможность достижения оптимальных характеристик, соответствующих конкретным задачам в проведении люминесцентного метода контроля:

– длины волны, путем подбора определенной газовой смеси и условий, в которых реализуется электрический разряд;

– мобильность, поскольку эксилампа обладает небольшим весом, имеется возможность модернизации ее до портативной версии, работающей от батареи;

– масштабирование и выбор произвольной геометрии излучающей поверхности, для облучения больших контролируемых поверхностей.

**Литература.** 1. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования, взамен ГОСТ 18442-73 М.: Госстандарт СССР, 15.05.1980 – 18с. 2. Ломаев М.И. Эксилампы – эффективные источники спонтанного УФ– и ВУФ-излучения / М.И. Ломаев// Успехи Физических Наук./ М. Ломаев, В. Скакун, Э. Соснин, В. Тарасенко, Д. Шитц, М. Ерофеев – Томск, 2003. – Том 173, № 2. – С. 202 – 217.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, Томский политехнический университет, Институт неразрушающего контроля, оф. 302, Калининко Алексей Николаевич, тел.: 8(3822) 41-73-07, 8-906-950-86-63. E-mail: [lex-k@tpu.ru](mailto:lex-k@tpu.ru).*

## **АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО КРИСТАЛЛА NaI(Tl) ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ $Co^{60}$ ( $E=1250КэВ$ )**

КИМ В.В., КАПРАНОВ Б.И.

Сцинтилляционная техника нашла широкое применение и в производстве:  $\gamma$ -дефектоскопия, различного вида бесконтактные толщиномеры и плотно-меры, сигнальные устройства и т.д. Развитие сцинтилляционного метода стимулировало изучение люминесцентных процессов. Работа сцинтилляционных счетчиков основана на регистрации вспышек света, возникающих в результате взаимодействия того или иного типа излучения с веществами, называемыми люминофорами. Поглощение энергии веществом и ее последующее испускание в виде видимого или близкого к видимому свету излучения известно как люминесценция. Причинами, вызывающими люминесценцию, могут быть свет, нагревание, механические напряжения, химические реакции и воздействия заряженных частиц на вещество – люминофор. Вспышки света, вызванные заряженными частицами или гамма-квантами, обычно называют сцинтилляциями.

**Целью работы** является анализ геометрии и эффективности работы сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) для излучения  $Co^{60}$ ,  $E_0=1250КэВ$ .

Одним из самых лучших неорганических сцинтилляторов для гамма спектрометрии является кристалл NaI(Tl) (читается как натрий йод, активированный таллием). Кристалл этого типа используется в данной работе. Кристалл гигроскопичен, поэтому всегда упаковывается в герметичную оболочку. Под действием быстрой заряженной частицы электроны основного вещества кристалла переходят из валентной зоны в зону про-

водимости. Происходит возбуждение кристалла. Физически это означает отрыв электронов от узлов кристаллической решетки, т.е. их ионизацию (образуется дырка-отсутствие электрона). Электроны и дырки двигаются в кристалле в данном случае независимо. Возвращение электронов в валентную зону напрямую и рекомбинация их с дырками является маловероятным процессом. Однако, если это имеет место, то излучается фотон в ультра-фиолетовой области с  $\lambda < 155$  нм. Сцинтиллятор NaI(Tl) отличается высоким световыходом – на образование одного фотона в нем затрачивается около 25 эВ. Спектр люминесценции хорошо согласуется со спектральной чувствительностью фотокатодов фотоэлектронных умножителей. Сцинтиллятор NaI(Tl) имеет высокую прозрачность к свету собственного излучения и сравнительно прост в изготовлении. Большим недостатком кристалла является его высокая гигроскопичность. Регистрация гамма квантов и нейтронов происходит за счёт регистрации продуктов взаимодействия гамма квантов и нейтронов с веществом сцинтиллятора, которые обладают зарядом. Это электроны, возникающие при взаимодействии гамма-квантов с веществом в результате либо фотоэффекта, либо комптоновского рассеяния или процесса образования пар.

Целью является расчёт эффективности регистрации гамма-квантов сцинтилляционным кристаллом NaI(Tl) размером 10x10см, излучаемых изотопом  $Co^{60}$  с энергией  $E=1250$ КэВ.

Размеры кристаллов влияют на эффективность регистрации гамма-квантов.

Комптоновское рассеяние при котором вся энергия  $\gamma$ -кванта передается атомному электрону, взаимодействие  $\gamma$ -излучения со средой может приводить к его рассеянию. (т.е отклонению от первоначального направления распространения на некоторый угол- $\alpha$ ). Энергия рассеянного кванта рассчитывается по формуле 1:

$$E_s = \frac{E_0}{1 + \left(\frac{E_0}{m_0c^2}\right)(1 - \cos\alpha)},$$

где  $E_0$  – энергия гамма-квантов, испускаемых изотопом  $Co^{60}$ ,  $m_0c^2 = 511$  кэВ – энергия покоя электрона;  $c$  – скорость света,  $\alpha$  – угол рассеяния гамма-квантов..

$E_s$  рассчитывается для углов рассеяния от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  (с интервалом  $5^\circ$ ). Полученные результаты представлены в таблице 2

Поток гамма-квантов поглощается с увеличением толщины слоя поглотителя. Это значит, что, какой бы ни была толщина слоя вещества, нельзя полностью поглотить поток гамма-лучей, а можно только ослабить его интенсивность в любое заданное число раз. В этом существенное отличие характера ослабления гамма-излучения.

Закон ослабления потока гамма-квантов описывается экспонентой:

$$n(x) = n_0 e^{-\mu x}$$

где  $n(x)$  – интенсивность пучка гамма-лучей, прошедших через слой поглотителя толщиной  $x$ ;  $n_0$  – интенсивность падающего пучка гамма-лучей;  $x$  – толщина слоя поглотителя  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления, равный отношению уменьшению интенсивности пучка гамма-лучей после прохождения слоя поглотителя толщиной 1 см.

Имея данные  $E_S$ , производится расчет для каждого угла зависимости энергии рассеянного кванта  $E_S$  от угла рассеяния  $\alpha$ . Результаты отображены на рис. 1.

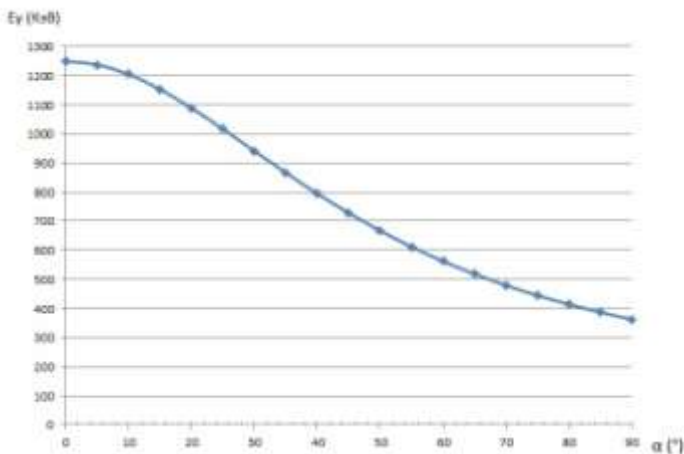


Рис. 1. График зависимости энергии рассеянного кванта  $E_S$  от угла рассеяния  $\alpha$

Массовый коэффициент ослабления  $\mu_p = \mu / \rho$ , где  $\rho$  ( $\text{г/см}^3$ ) – плотность вещества. Размерность  $\mu$  получается следующей:  $[\mu_p] = \text{см}^2/\text{г}$ .

Для кристалла NaI(Tl) значения  $\mu_p$  представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения  $\mu_p$  для разных  $E_\gamma$  в кристалле NaI(Tl)

$E_\gamma$ (КэВ)	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
$\mu_p$ ( $\text{см}^2/\text{г}$ )	1,67	0,62	0,333	0,167	0,118	0,0955	0,0826	0,0675	0,0585

Линейный коэффициент ослабления – суммарный коэффициент, который учитывает ослабление пучка гамма-лучей за счет всех трех процессов: фотоэффекта, комптон-эффекта и образования пар. Линейный коэффициент ослабления вычисляется по формуле:

$$\mu = \mu_p \rho,$$

где  $\rho$  – плотность вещества (для NaI(Tl) = 3,67 г/см<sup>3</sup>).

Значения  $\mu$  для сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) рассчитаны в таблице 1.

Строим график зависимости  $\mu$  от энергии  $E_S$  (рис.2.).

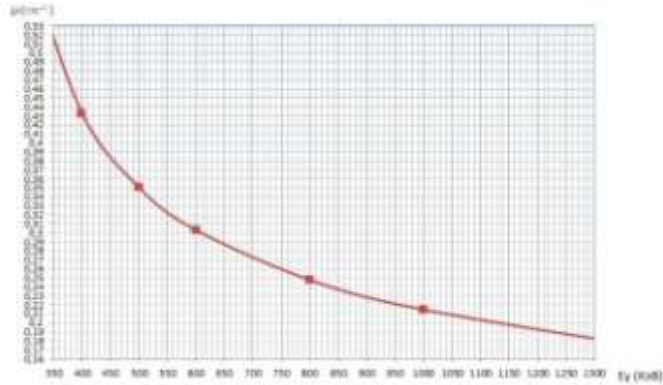


Рис. 2. График зависимости  $\mu$  от энергии рассеянного кванта  $E_\gamma$

На данном графике находим значения  $\mu$  для  $E_S$  нужных нам углов рассеяния. Получив результаты, строим график зависимости  $\mu$  от конкретного угла рассеяния  $\alpha$ . Результаты отображены на рис. 3.

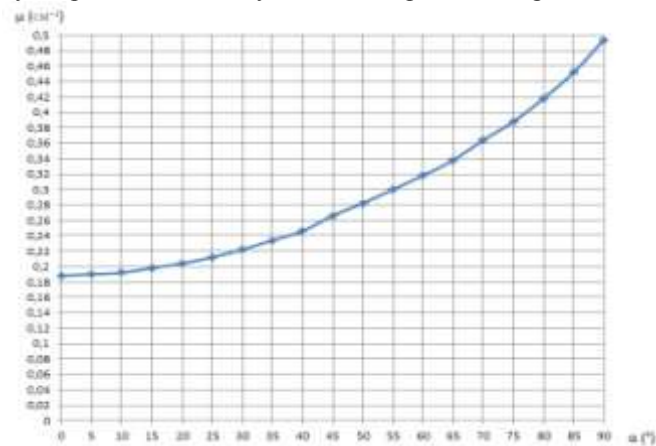


Рис. 3. График зависимости  $\mu$  от угла рассеяния  $\alpha$

Расстояние  $L$ , после прохождения которого количество квантов  $n(x)$  будет составлять 10% от количества влетевших в кристалл квантов,

будем рассчитывать из экспоненциального закона ослабления гамма-излучения веществом:

$$n(x) = n_0 e^{-\mu L},$$

$$L = \frac{\ln 0,1}{-\mu}$$

Таблица 2. Расчетные данные

$\alpha$ (°)	$E_\gamma$ (КэВ)	$\mu$ (см <sup>-1</sup> )	L (см)
0	1250	0,188	12,24779
5	1238,483	0,19	12,11887
10	1205,254	0,192	11,99263
15	1153,916	0,198	11,62922
20	1089,443	0,204	11,28718
25	1017,12	0,212	10,86125
30	941,6892	0,222	10,372
35	866,8799	0,234	9,840107
40	795,2959	0,246	9,360102
45	728,5307	0,266	8,656335
50	667,3862	0,282	8,165195
55	612,1043	0,3	7,675284
60	562,5645	0,318	7,240834
65	518,434	0,338	6,812382
70	479,2731	0,364	6,325783
75	444,603	0,388	5,934498
80	413,9479	0,418	5,508577
85	386,8589	0,452	5,094215
90	362,9252	0,494	4,661103

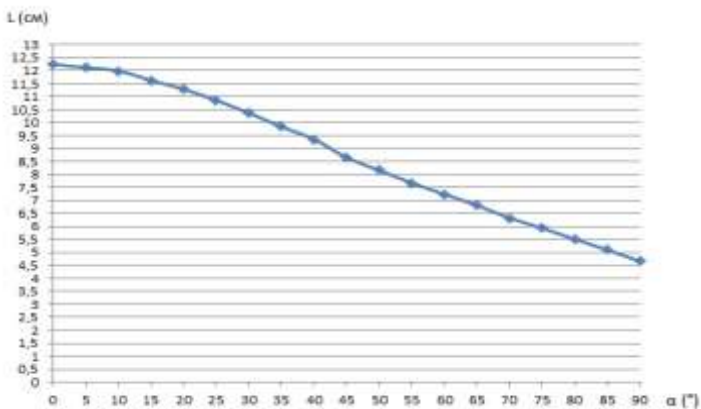


Рис. 4. График зависимости L от угла рассеяния  $\alpha$

Для определения эффективности поглощения  $\gamma$ -квантов сцинтилляционным кристаллом NaI(Tl) строим график соотношения кривой описывающей область 90% поглощения с областью поглощения кристалла размером 10x10см.

Полученные данные представлены на рис. 5.

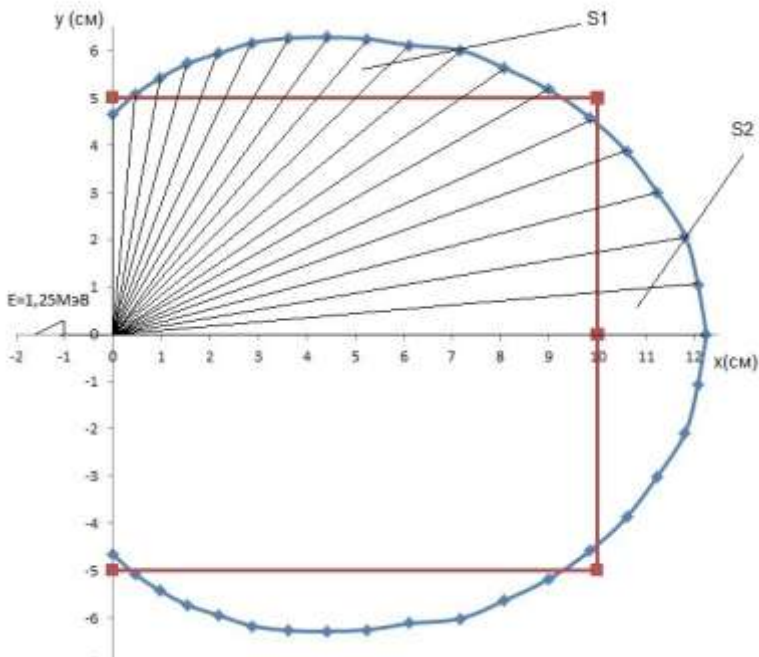


Рис. 5. Соотношение кривой описывающей область 90% поглощения с областью поглощения кристалла размером 10x10см

Из графика видно, что  $E_S$  превышает область поглощения  $\gamma$ -квантов кристалла выбранного размера. Для вычисления процентного соотношения нужно определить площадь «идеального» кристалла, который описывается  $L$  находящимися под углами  $\alpha$ . Для этого к площади поглощения кристалла NaI(Tl) нужно прибавить 3 сегмента:

$$S = S_{кр} + 2S_1 + S_2$$

Из расчетов  $S_1 = 7,65\text{см}^2$ ,  $S_2 = 15,22\text{см}^2$ . Тогда площадь  $S$  будет равна:

$$S = 100 + 7,65 * 2 + 15,22$$

$$S = 130,52\text{см}^2$$

Поглощение кристаллом  $\gamma$ -квантов составит:

$$\frac{100 * 100}{130,52} * 0.9 = 69\%$$

Таким образом, сцинтилляционный кристалл NaI(Tl) размером 10x10см регистрирует 69%  $\gamma$ -квантов, прошедших объект контроля и попавших в кристалл. Это можно считать хорошей эффективностью данного кристалла.

**Литература.** 1. Кулешов В.К., Сертаков Ю.И., Ефимов П.В., Физические и экспериментальные основы радиационного контроля и диагностики: учеб. пособие / Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 341с. 2. Крылов Н. А., Электронно-акустические и радиометрические методы испытаний материалов и конструкций, Л. – М., 1963. – 574 с.

**Реквизиты для справок:** Россия, 634000, Томск, ул. Савиных 7, Институт неразрушающего контроля, кафедра Физических методов и приборов контроля качества, доктору технических наук, профессору Капанову Б.И. тел. (3822) 595256 E-mail: [introbob@tpu.ru](mailto:introbob@tpu.ru)

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ BIGDATA**

ЯКОВЕНКО Р.А, СУЧКОВА Л.И.

Одним из перспективных направлений в области разработки высоконагруженных распределенных систем хранения и обработки данных (далее, систем BigData) является предварительное моделирование их функционирования с целью проведения экспериментов без ее физической реализации. Потребность в имитационных системах возникает при создании и развертывании сложных быстродействующих информационных систем в областях, где тестирование затруднено или невозможно по причине высокой стоимости, а сбои и отказы могут привести к серьезным или даже к катастрофическим последствиям [1].

Специализированные программные средства для имитационного моделирования работы систем BigData (SCADA ZetView, Tossim, NetWizard, Opnet Modeler и др.), имеют следующие недостатки: высокая стоимость (до 70 000\$), отсутствие средств обработки нештатных ситуаций и оценки характеристик работоспособности системы в зависимости от параметров данных, выполняющихся на узлах системы. Кроме того, многие из перечисленных программных комплексов ориентированы на оборудование конкретного производителя.

Главной особенностью BigData систем является то, что количество типов запросов известно заранее, и разработчик может самостоятельно указать все особенности оптимального выполнения каждого из них.



В подавляющем большинстве высоконагруженные распределенные системы обработки и хранения данных являются системами массового обслуживания, в которых в произвольные моменты времени появляются заявки на обслуживание от клиентов (запросы), а также присутствует устройство (комплекс устройств) для обработки таких заявок (сервера) [2].

Была разработана имитационная модель, а также её программная реализация, для исследования вариантов хранения и обработки данных в системах BigData, позволяющей учитывать различные конфигурации архитектуры хранения и обработки данных.

Имитационная система имеет следующие этапы работы:

- 1) Переход от реляционного представления базы данных к NoSQL-представлению (JSON).
- 2) Генерация множества вариантов логической структуры данных в нереляционном представлении.
- 3) Распределение данных по машинам кластера.
- 4) Тестирование выбранного варианта архитектуры данных на множестве клиентских типовых запросов.

Результатом первого этапа работы системы при переходе от SQL к NoSQL- представлению данных, является JSON-данные запроса. Например, типичный SQL-запрос «SELECT id, name FROM user AS u WHERE u.id > 12 AND u.name = 'Roman'» можно трансформировать в формат JSON:

```
{
  select: ['user.id', 'user.name'],
  from: ['user']
  where: [
    { table: 'user', field: 'id', operator: 'GT', value: 12},
    { table: 'user', field: 'name', operator: 'EQ', value: 'Roman' }
  ]
}
```

SQL-запрос, представленный в таком формате, имеет большую наглядность и с ним удобнее работать программисту.

На основании полученного JSON-представления структуры табличных данных генерируется множество вариантов логической структуры в нереляционном представлении. Одним из способов отображения логической структуры данных на физическую является представление данных в виде множества строк и столбцов. Каждая строка и столбец определяются уникальным ключом (rowkey и columnkey соответственно). Данные в NoSQL структуре данных хранятся в виде: (Table, RowKey, Family, Column, Timestamp) -> Value, где левая часть образует ключ, а правая – значение [3]. Значение строки при моделировании работы BigData систем

большой роли не играет и для удобства хранит размер данных. От ключа напрямую зависит скорость доступа к данным. Поэтому способ выбора ключевых полей определяет распределение данных по кластеру и, как следствие, скорость доступа к ним при выполнении запросов.

Ключ строки может быть сформирован различными способами:

- 1) первичный ключ или уникальное поле;
- 2) конкатенация нескольких полей из таблиц;
- 3) хэш-функция от полей.

Поля, которые не вошли в ключ строки, должны быть распределены между семейства колонок (column families). Такой подход обосновывается облегчением управления и манипуляции данными. Так как все данные каждой column family хранятся в определенном наборе файлов, то выбор распределения столбцов напрямую влияет на скорость выполнения запросов. Таким образом, поля, которые встречаются вместе в запросе разумно выделить в одну column family.

Генерация NoSQL-структуры может быть произведена полным перебором вариантов выбора column family, либо пользователем. В данной имитационной системе нереляционные структуры генерируются на основании пользовательского способа группировки полей.

Математическая модель оценки времени на выборку данных для одной пары Key-Value описывается формулой (1):

$$T = T_{\text{read}(\text{key})} + kT_{\text{read}(\text{value})} + (1 - k)(T_{\text{parse}(\text{key})} + T_{\text{read}(\text{value})}) + T_{\text{transfer}} \quad (1)$$

где  $T_{\text{read}(\text{key})}$ ,  $T_{\text{read}(\text{value})}$  – время чтения Key и Value из Row;

$T_{\text{parse}(\text{key})}$  – время выделения поля из RowKey для сравнения;

$T_{\text{transfer}}$  – время передачи row между узлами системы;

$k$  – коэффициент, равный 1, если все поля запроса находятся в RowKey, иначе 0.

Существует множество вариантов физической организации хранения информации. Распределение данных по машинам кластера можно производить различными способами [4]:

- 1) по первичным ключам (хэш-кодам);
- 2) по атрибутам данных (например, данные 2015-2017 годов находятся на одной машине, а данные 2014-2015 годов – на другой);
- 3) по композитным ключам;
- 4) по таблицам;
- 5) по столбцам и записям таблиц.

Основной единицей масштабируемости и балансировки нагрузки является регион (region). Регион является непрерывным диапазоном строк, имеющих одно место хранения. При добавлении новых данных в регион, система проверяет, чтобы общий объем не превысил допустимый размер. Когда объем данных в регионе достигает максимального значения, регионы динамически расщепляются (split) системой на две части. Один из

новых регионов останется на прежнем сервере, а второй может быть перенесен на другой, менее загруженный. Каждый регион обслуживается одним регион-сервером. Регион-сервер – это сервера хранения данных, ответственные за все операции чтения и записи по отношению к обслуживаемым регионам. Каждый из таких серверов обрабатывают множество регионов в одно время.

В любой BigData системе, как правило, имеется мастер-сервер [5]. В его задачу входит управление множеством подчиненных регион-серверов. Также, главный сервер ответственен за назначение регионов регион-серверам и за распределение данных по регион-серверам. Также он отвечает за баланс нагрузки между регион-серверами. При записи данных на регион-сервер запросы от клиента на запись сначала поступают на мастер-сервер, который имеет реестр с информацией о регионах. Далее, главный сервер перенаправляет данные на нужный регион-сервер.

В разработанной имитационной модели имеются следующие этапы сбора входных данных:

- 1) Создание и конфигурация узлов хранения и обработки данных.
- 2) Создание логической структуры хранения данных (таблицы, поля, индексы, типы шардинга, семейства колонок).
- 3) Описание набора SQL запросов, указание числа клиентов в системе и других параметров СМО [10].

При создании кластера следует указать наименование сервера, его роль (мастер/регион). Если задана роль регион-сервера, то важно указать доступное пространство хранения, максимальное число регионов, вероятность отказа, расстояние до мастер-сервера (рис.1).

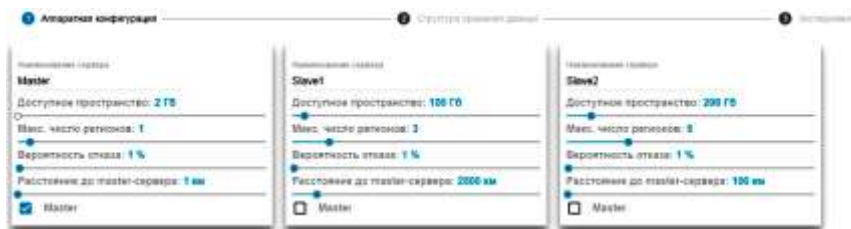


Рис. 1. Конфигурация кластера

После создания кластера необходимо определить структуру данных. Для этого требуется указать наименование таблицы, требуемый размер табличного пространства, а также создать необходимые поля. Для каждого поля необходимо указать его наименование, тип, размер, column family и указать, является ли поле первичным или индексируемым. В программе были реализованы горизонтальный и вертикальный виды шардинга (рис.2).

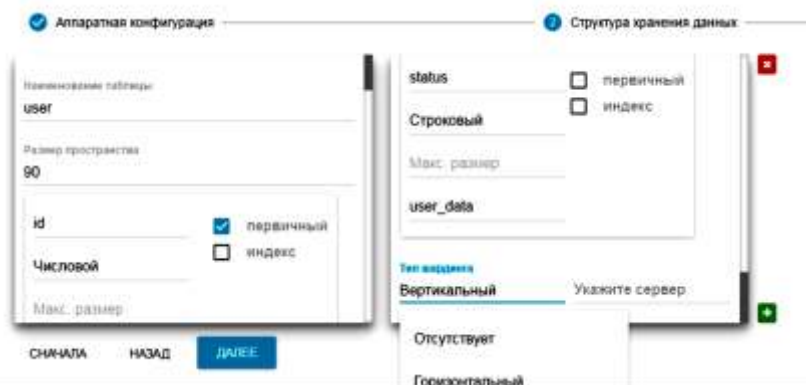


Рис. 2. Конфигурация структуры данных

Вертикальный шардинг позволяет указать для конкретной таблицы сервер, на котором будут храниться все ее записи. При таком виде шардинга важно, чтобы связанные таблицы хранились на одном сервере.

Горизонтальный шардинг обеспечивает распределение записей одной таблицы по всем регион-серверам в соответствии с заданным условием. Остаток от деления хорошо подходит для равномерного распределения записей по любому количеству серверов. Однако, серьезным недостатком такого вида шардирования является то, что при добавлении нового регион-сервера потребуются перебалансировка данных.

При распределении данных и сохранении в кластере на регион-серверах создаются индексы, позволяющие получать быстрый доступ к данным. Например, при сохранении записи user с полями id, name, year, email, можно создать индекс по полю name. Так как индекс представляет собой хэш-таблицу, то каждому значению name будет соответствовать идентификаторы записей, которые содержат такое значение поля name.

Map = { Анна: [1,3,5,42,89], Роман: [4,47,51,101], ... }

Как видно из рисунка 2 программа позволяет конечному пользователю выбрать поля, которые должны индексироваться.

Таким образом, эксперименты с конфигурацией индексации, видом шардинга, выбором групп полей (column family) для каждой из таблиц важны для исследования и могут наглядно показывать её влияние на скорость выборки записей из базы данных.

Так как для моделирования выполнения процессов использован аппарат теории СМО, то в роли обслуживающих устройств выбраны мастер и регион-сервера, а в качестве событий различных типов – запросы на запись или выборку данных.

В ходе данной работы был проведен обзор различных способов организации очередей в СМО [6]. В разработанной имитационной системе комбинируются следующие модели работы с очередями: модель очередь задач, модель маршрутизации, модель RPC.

Использование модели очередь задач предоставляет возможность мастер-серверу получать запросы от клиентов. Модель маршрутизации позволяет мастер-серверу распределять события по регион-серверам. Благодаря реализации модели RPC всегда существует обратная связь с клиентом после сделанного им запроса, а также связь между главным и регион серверами, до момента потери необходимости.

Перед началом запуска модели необходимо задать количество клиентов в СМО, лимит количества запросов от каждого, таймаут ожидания, а также описать все SQL-запросы, которыми будут случайным образом оперировать клиенты системы. Стоит, еще раз отметить, что SQL-формат преобразуется в JSON (рис.3).



Рис.3. Конфигурирование СМО

Результаты имитационного моделирования работы распределенной высоконагруженной системы отображаются графически (рис.4-6).

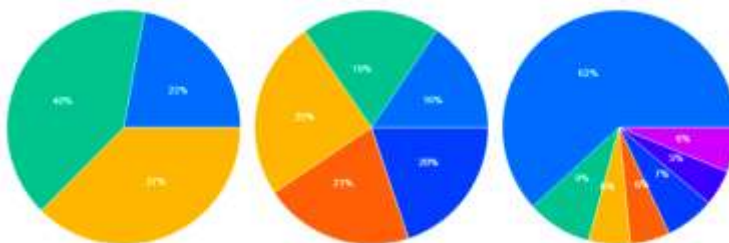


Рис.4. Результат заполнения регионов 3 регион-серверов

Данная имитационная система в качестве выходных данных предоставляет:

1) диаграммы распределения данных в регионах по каждой машине кластера;

2) диаграмму количества клиентских запросов по каждому регион-серверу;

3) график нагрузки в процессе обработки клиентских запросов регион-серверами (рисунки 5,6).

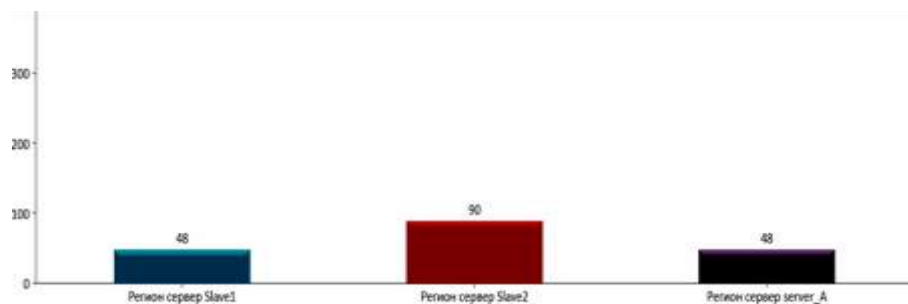


Рис. 5. Диаграмма количества обработанных клиентских заявок регион-серверами

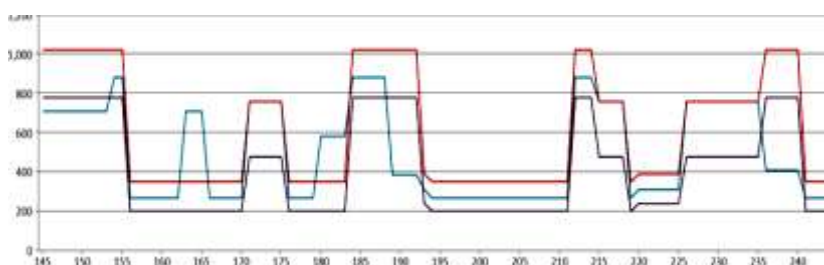


Рис. 6. График нагрузки на каждый сервер. По оси Y условное время выполнения

Таким образом, разработанная имитационная система подходит для исследования различных вариантов архитектур хранения и обработки данных в системах BigData, а также позволяет найти оптимальный вариант.

**Литература.** 1. Стигнеева, М. Техногенные катастрофы / М.Стигнеева // Тайны XX Века. – 2007.– № 49. 2. Гильмутдинов Р.Ф., Кирпичников А.П. Математическая модель замкнутой одноканальной системы массового обслуживания // Вестник Казанского государственного технологического университета – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2011 – № 6 – с. 18. 3. Fay Chang, Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, Wilson C. Hsieh, Deborah A., Wallach, Mike Burrows, Tushar Chandra, Andrew Fikes, Robert E. Gruber. Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data – Google Inc. 2006, 14с. 4. Hrishikesh Karambelkar. Scaling Big Data with Hadoop and Solr – Packt 2013, 144 с. 5. Typical Hadoop Clus-

ter [Электронный ресурс] – 2015. Режим доступа: [https://docs.hortonworks.com/HDPDocuments/HDP2/HDP-2.3.6/bk\\_cluster-planning-guide/content/typical-hadoop-cluster-hardware.1.html](https://docs.hortonworks.com/HDPDocuments/HDP2/HDP-2.3.6/bk_cluster-planning-guide/content/typical-hadoop-cluster-hardware.1.html) **6.** Обзор способов организации очередей заявок для решения задач имитационного моделирования функционирования распределенных систем сбора и обработки большого объема данных [Текст] / Р.А. Яковенко, Л.И. Сучкова // Ползуновский альманах: Виртуальные и интеллектуальные системы обработки информации в студенческих работах. – Барнаул. Изд-во АлтГТУ, 2016 – №2 – С. 215-218. **7.** Part 1: RabbitMQ for beginners – What is RabbitMQ? [Электронный ресурс] – 2015. – Режим доступа: <https://www.cloudamqp.com/blog/2015-05-18-part1-rabbitmq-for-beginners-what-is-rabbitmq.html> **8.** Dr. Michael Eichberg. Software Engineering: The Observer Design Pattern – Department of Computer Science, 2009 – 36с. **9.** Имитационное моделирование работы распределённой вычислительной системы на основе принципов теории массового обслуживания / Е.В. Бочкарева, И.М. Кулагин, Л.И. Сучкова // Измерение, контроль, информатизация ИКИ-2010: материалы XI Международной научно-технической конференции. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – С. 41-44. **10.** Харламов, А.И. Исследование схем хранения информации в распределенных системах с учетом основных закономерностей доступа к данным [Текст] / А.И.Харламов, Л.И. Сучкова, Е.В. Бочкарева // Ползуновский вестник: измерение, информатизация, моделирование: проблемы и перспективы технологической разработки и применения. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – №3/ 2. – С. 81 – 86.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656099, Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет, кафедра «Информатика, вычислительная техника и информационная безопасность», Яковенко Р.А., тел. 8-923-714-8511. E-mail: [feurjarx@gmail.com](mailto:feurjarx@gmail.com)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БРАУНА К ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ**

**КИМ К.С., СМАГИН В.И.**

Со времен создания крупных предприятий возникла проблема дефицита и профицита на складе. Отсутствие товара вело к потере клиентов, и, следовательно, потере прибыли. Излишки же вели к увеличению затрат на хранение. Состояние запасов оказывает определяющее влияние на конкурентоспособность предприятия, его финансовое состояние и финансовые результаты деятельности. Использование методов управления

запасами позволяет выявить скрытые внутренние ресурсы предприятия, что представляет собой резерв повышения рентабельности.

В работе объем поставок определяется на основе оптимизации локального критерия с учетом транспортных запаздываний и ограничений. Необходимый прогноз спроса предложено определять с помощью метода Брауна [1].

Модель склада описывается разностным уравнением [2]:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k-h) + Fs(k) \\ x(0) &= x_0, \quad u(j) = \psi(j), \quad j = -h, -h+1, \dots, -1, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x(k) \in R^n$  – вектор количества продукта на складе в  $k$ -ый такт ( $x_i(k)$  – количество товаров  $i$ -го вида),  $u(k-h) \in R^m$  – вектор поставок (вектор управления),  $h$  – количество тактов транспортного запаздывания,  $s(k) \in R^n$  – вектор спроса в  $k$ -ом такте,  $x_0$  и  $\psi(j)$  ( $j = -h, -h+1, \dots, -1$ ) – заданные векторы. Матрицы  $A, B$  и  $F$  определяются характеристиками и структурой склада.

Управление определяется на основе оптимизации локального критерия [2]:

$$\begin{aligned} I(k) &= M\{(w(k+1) - Xm)^T C(w(k+1) - Xm) + \\ &\quad + u^T(k-h)Du(k-h)\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $C > 0$ ,  $D \geq 0$  – весовые матрицы;  $Xm$  – заданный вектор. Дополнительно, используя принцип разделения, управление примет вид:

$$\begin{aligned} u(k-h) &= -(B^T H^T CHB + D)^{-1} B^T H^T C(HA^{h+1}x(k-h) + \\ &\quad + \sum_{i=1}^h HA^i Bu(k-h-i) + HA^h Fs(k-h) + \sum_{i=0}^{h-1} HA^i F\hat{s}_p(k-i) - Xm). \end{aligned} \quad (3)$$

Затраты на хранение продукции на скользящем временном интервале  $[k, k+T]$  определяются с помощью критерия, определяющего издержки

$$J_1(k, Xm) = \sum_{i=1}^n \sum_{t=k}^{k+T} c_i x_i(t, Xm), \quad (4)$$

где  $c_i$  – стоимость хранения единицы продукции для  $i$ -ого вида в единицу времени. Минимизация критерия (4) при ограничениях  $x_i(k) \geq Xst_i, \quad \forall k \in [k, k+T], \quad i = 1, \dots, n$ , производится по вектору  $Xm$  с



использованием численных методов ( $Xst_i$  – страховой запас для  $i$ -ого вида товара).

В (3) требуется вычислять также оценки и в моменты большие, чем  $k - h$  (оценки прогноза), для определения этих оценок воспользуемся методом прогнозирования Брауна, алгоритм которого заключается в следующем:

- находим параметры линейной модели спроса  $a(0)$  и  $b(0)$  методом наименьших квадратов по пяти предшествующим значениям временного ряда

$$s_p(k) = a(0) + b(0)k;$$

- найденные для нулевого шага параметры подставляем в предыдущую модель и строим прогноз на 1 шаг

$$s_p(1) = a(0) + b(0);$$

- определяется величина  $\varepsilon$  отклонения фактического значения спроса от прогнозируемого

$$\varepsilon(k) = s(k) - s_p(k);$$

- корректируются параметры модели

$$a(k) = a(k-1) + b(k-1) + (1-\beta^2)\varepsilon(k);$$

$$b(k) = b(k-1) + (1-\beta)^2\varepsilon(k);$$

где  $\beta = 1 - \alpha$ ,  $\alpha$  – параметр сглаживания;

- с помощью скорректированных параметров определяется прогноз на следующий такт.

Точечный прогноз рассчитывается по следующей формуле:

$$s_p(t+k) = a(t) + b(t)k, \quad (5)$$

где  $t$  текущий момент времени.

Моделирование выполнялось для двух номенклатурного склада. Исходные данные следующие:

$$A = \begin{pmatrix} 0,999 & 0 \\ 0 & 0,998 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$Xst = \begin{pmatrix} 15 \\ 10 \end{pmatrix}, G_{\max} = 1000, p = \begin{pmatrix} 1,35 \\ 1,1 \end{pmatrix}, Kg = 0,9.$$

Поставки осуществляются одним транспортным средством, со следующими транспортными ограничениями:

$$u_i(k) = \begin{cases} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, & \text{если } G(u(k)) < KgG_{\max}; \\ u_i(k), & \text{если } KgG_{\max} < G(u(k)) < G_{\max}; \\ \frac{1}{\alpha} u_i(k), & \text{если } G(u(k)) > G_{\max}; \end{cases}$$

где  $G(u(k)) = p_1 u_1(k) + p_2 u_2(k)$ ;  $\alpha = \frac{G(u(k))}{G_{\max}}$ ;  $G_{\max}$  – максимальная грузоподъемность транспортного средства,  $Kg$  – коэффициент использования грузоподъемности транспортного средства. На Рис. 1–3 показаны изменения количества каждого вида товара, спроса и его прогноза, и диаграмма объема поставок каждого вида товаров.

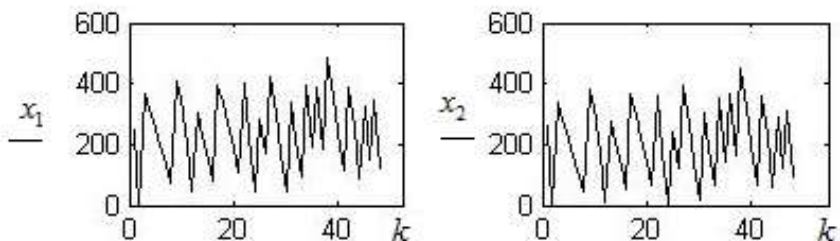


Рис. 1. Реализация количества товаров первого и второго вида

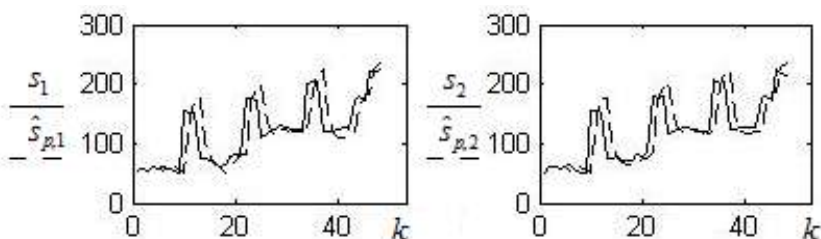


Рис. 2. Реализации векторов  $s(k)$ ,  $s_p(k)$  (прогноз (пунктирная линия) построен с использованием метода Брауна)

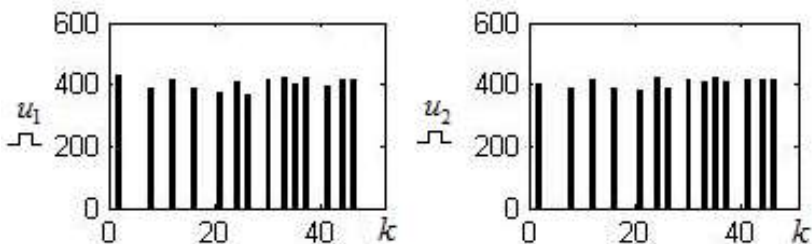


Рис. 3. Диаграмма поставок объемов товара первого и второго вида

Как видно из Рис. 4 в результате выполнения ограничений реализовано 14 поставок, при этом вес каждой поставки находится в пределах между  $KgG_{\max}$  и  $G_{\max}$ .

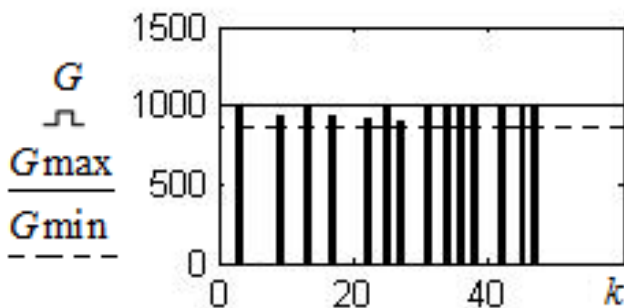


Рис. 4. Диаграмма загрузки транспортного средства

В заключение отметим, что предложенный алгоритм осуществляет управление поставками с минимальными издержками, обеспечивая заданный коэффициент загрузки транспортного средства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 17-08-00920.

**Литература. 1.** В.В. Федосеев, А.Н. Гармаш, И.В. Орлова. Экономико-математические методы и прикладные модели: учебник для бакалавров – М.:Юрайт, 2012. – 328 с. **2.** V.I. Smagin, G.M. Koshkin, K.S. Kim, Locally Optimal Inventory Control with Time Delay in Deliveries and Incomplete Information on Demand. Proceedings Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management. February 15-18, Beer Sheva, Israel, pp. 570–574, 2016.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Томский государственный университет, Факультет прикладной математики и кибернетики доктору технических наук, профессору, Смагину В.И., тел. 8-961-892-9390. E-mail: [vsm@mail.tsu.ru](mailto:vsm@mail.tsu.ru).*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОЦЕДУР ТЕПЛОВОЙ ДЕФЕКТОМЕТРИИ УДАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КОМПОЗИТАХ**

МАТВИЕНКО К.Г

В современной промышленности широко используются композиционные материалы. Их качество должно соответствовать установленным требованиям и нормам. Основная задача технического контроля качества выпускаемой продукции состоит в том, чтобы, правильно используя эффективные методы и средства испытаний, своевременно выявлять технологические дефекты, определять причины, порождающие эти дефекты, и намечать мероприятия, обеспечивающие бездефектную сдачу готовой продукции.

**Цель работы:** провести анализ результатов измерения инфракрасных термограмм композитов, при ручном и автоматическом выборе дефектных зон.

Использовали классическую экспериментальную процедуру активного теплового контроля. Изделия из углепластика с нормированными ударными повреждениями нагревали в течение 5 секунд двумя галогеновыми лампами общей мощностью 2 кВт. Инфракрасные термограммы поврежденной поверхности регистрировали с частотой 10 Гц тепловизором FLIR A325SC. Анализ выбора дефектных и бездефектных зон выполнялось в компьютерной программе Soft Ware3, разработанной в ТПУ. В эксперименте участвовали операторы с различным опытом в области теплового неразрушающего контроля. Алгоритм работы включал два этапа. Сначала операторы оценивали дефектные и бездефектные зоны вручную по критерию кажущейся тепловой инерции, на втором этапе выбор зон осуществлялся с помощью полуавтоматического алгоритма при незначительном участии оператора. Результаты сравнительных оценок величин тепловой инерции и размеров скрытых ударных повреждений в углепластиковом композите при использовании активного теплового контроля приведены в таблице 1.

Таблица 1. Анализ выбора дефектных и бездефектных зон при контроле углепластикового композита ( $\epsilon_d$  – кажущаяся тепловая инерция в дефектной зоне,  $\epsilon_{nd}$  – кажущаяся тепловая инерция в бездефектной зоне, Dim – характерный размер дефекта)

<b>Образец №1</b>				
Ручной выбор зон				
<b>Оператор</b>	$\epsilon_d$	$\epsilon_{nd}$	$\Delta\epsilon/\epsilon_{nd},\%$	<b>Dim, мм</b>
№1	0,05123	0,05705	10,2	25,5*31,9
№2	0,04678	0,05266	11,2	17,4*26,7
№3	0,05072	0,05590	9,3	15,7*24,9
№4	0,04609	0,04934	6,6	27,8*35,4
№5	0,05041	0,05583	9,7	21,5*25,5
№6	0,04844	0,05056	4,2	31,9*37,8
№7	0,05399	0,05902	8,5	28,4*32,5
<b>Среднее значение</b>	0,049666	0,054337	8,5	24,0*30,7
<b>Стандартное отклонение</b>	2,73E-04		2,39	6,02*5,06
Автоматический выбор зон				
<b>Оператор</b>	$\epsilon_d$	$\epsilon_{nd}$	$\Delta\epsilon/\epsilon_{nd},\%$	<b>Dim, мм</b>
№1	0,0436	0,0518	15,7541	25,5*31,9
№2	0,0436	0,0518	15,7541	17,4*26,7
№3	0,0402	0,0476	15,5495	15,7*24,9
№4	0,0436	0,0518	15,7541	27,8*35,4
№5	0,0436	0,0518	15,7541	21,5*25,5
№6	0,0402	0,0481	16,4208	31,9*37,8
№7	0,0411	0,0498	17,3862	28,4*32,5
<b>Среднее значение</b>	0,042271	0,050386	16,05327	24,0*30,7
<b>Стандартное отклонение</b>			0,4206	
<b>Образец №2</b>				
Ручной выбор зон				
№1	0,03419	0,04064	15,9	24,4*42,9
№2	0,04702	0,05236	10,2	29,0*44,1
№3	0,03268	0,03945	17,2	42,9*53,4
№4	0,03270	0,03917	16,5	15,7*43,5
№5	0,04296	0,04752	9,6	41,8*53,4
№6	0,03965	0,04378	9,4	41,8*48,7

№7	0,04583	0,04955	7,5	68,1*92,3
№8	0,03794	0,04218	10,0	24,9*42,9
<b>Среднее значение</b>	0,039121	0,044331	12,04	36,1*52,7
<b>Стандартное отклонение</b>			3,83	16,3*16,6
Автоматический выбор зон				
№1	0,0310	0,0413	25,0842	24,4*42,9
№2	0,0310	0,0413	25,0812	29,0*44,1
№3	0,0310	0,0406	23,6717	42,9*53,4
№4	0,0309	0,0405	23,6391	15,7*43,5
№5	0,0310	0,0413	24,9760	41,8*53,4
№6	0,0310	0,0413	24,9760	41,8*48,7
№7	0,0310	0,0413	24,9760	68,1*92,3
№8	0,0310	0,0413	24,9760	24,9*42,9
<b>Среднее значение</b>	0,030988	0,041113	24,67253	36,1*52,7
<b>Стандартное отклонение</b>			0,62957	

Сравнивая результаты значений ручного и автоматического выбора зон, можно сделать вывод о том, что разброс оценок размеров дефектов и величины тепловой инерции при использовании полуавтоматического алгоритма значительно меньше, чем в ручном режиме, что свидетельствует о влиянии человеческого фактора на результаты измерений.

**Литература. 1.** Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М: Спектр – 544 с. **2.** Вавилов В.П. Тепловой контроль//Спр. «Не разрушающий контроль», том 5, М.: Машиностроение, 2004. С. 9-361.

**Реквизиты для справок:** *Реквизиты для справок: Россия, 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, Томский политехнический университет, Институт неразрушающего контроля, Матвиенко Константин Геннадьевич, тел.: 8-913-859-81-90. E-mail: matwei373@mail.ru*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА PGG ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ**

СУЧКОВА Л.И., КОЛДИН И.Ю.

В настоящее время актуально развитие методов обработки и анализа измерительной информации. Ежедневно множество датчиков собирают информацию для анализа, прогнозирования событий в различных системах, управления производственными процессами. Данные измерений

имеют значительный объем, их требуется обрабатывать в реальном времени, поэтому актуальной задачей является разработка новых методов компактификации данных без потери их прагматической ценности, а также методов описания типовых шаблонов для наблюдаемых данных [1-3].

Одним из направлений представления шаблонов данных в информационно-измерительных системах является использование геометрических паттернов. Геометрическому паттерну визуально соответствует кривая зависимости измеряемых данных от времени. Этой зависимости, с алгебраической точки зрения, соответствует функция, имеющая тип и набор коэффициентов.

Особый интерес представляют геометрические паттерны, описывающие периодические данные. Периодические данные повторяются на промежутках времени, причем допускается вариабельность данных внутри периода и вариабельность границ периода для различных временных интервалов [4-6]. Предлагается рассматривать кратные и некратные периодические данные. Для кратных данных период повторяется через фиксированный промежуток времени, причем периоды имеют одинаковую длительность по времени. У некратных периодических данных начало периода допустимо в произвольные моменты времени.

Основными этапами при анализе данных измерений с применением геометрических паттернов являются:

1. Сбор данных за некоторый промежуток времени.
2. Выявление закономерностей в данных и выделение периодов.
3. Построение геометрического паттерна.

Сбор данных осуществляется установленными на объекте автономными датчиками, регистрирующими сигналы. На основе анализа данных для выделенных периодов строится геометрический паттерн, представляющий собой усредненный шаблон для любого из периодов. Он способен охарактеризовать цикличность сигнала. При его формировании используются такие способы, как аппроксимация методом наименьших квадратов и интерполяция кубическим сплайном. Для более точного построения паттерна временной диапазон разбивается на промежутки, и построение идентифицирующей кривой осуществляется для каждого промежутка отдельно. Такой подход позволяет более точно описать характерные перепады и скачки в данных и сформировать кривую, максимально близкую к данным наблюдений. Сформированный геометрический паттерн хранится в виде наборов коэффициентов для каждого отрезка, на основе которых можно восстановить данные в любой точке, что позволяет существенно экономить память.

Пример формирования геометрического паттерна на основе тестовых данных приведен на рисунке 1. На рисунке 1 б) представлен геометрический паттерн, сформированный с помощью аппроксимации методом

наименьших квадратов для каждой из трех его частей (установлены границы: 280 и 580). Для сравнения на рисунке 2 приведен геометрический паттерн, сформированный тем же способом и для тех же тестовых данных, но не разбитый на промежутки.

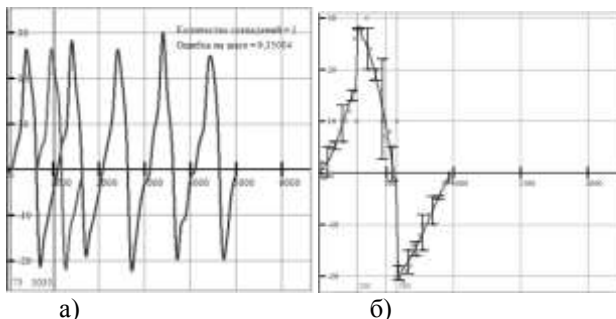


Рис. 1. Пример формирования геометрического паттерна на основе тестовых данных. а) – тестовые данные, б) – геометрический паттерн

При выявлении закономерностей в данных измерений необходимо их описать с помощью функциональных зависимостей от времени, а затем выделить периоды, на которых применим шаблон выбранного вида. Для этого можно использовать подход – Pattern Growth Graph (PGG)[7].

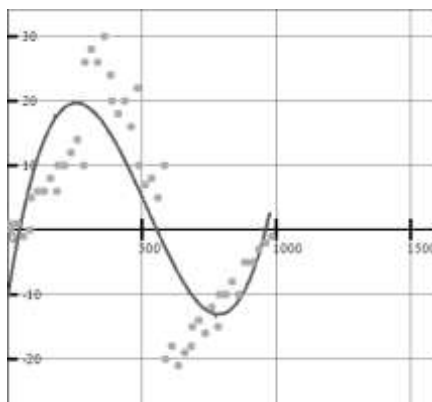


Рис. 2. Пример сформированного геометрического паттерна

Для эффективного представления данных в PGG бесконечный поток разделяется на сегменты, и с помощью алгоритма «Sliding Window And Bottom-up» формируется волновой шаблон. Если образец потока отличается от известных, PGG добавляет его в двунаправленный связанный спи-



сок, причем он хранит только различные части образца для поступающего потока. Шаблон в PGG включает себя такую информацию, как идентификатор шаблона, частоту и время каждого появления шаблона. С использованием PGG можно обеспечить также восстановление потока или обнаружение аварийной ситуации. За один проход можно обнаружить изменение потока данных и сохранение истории изменений. Статистическая информация PGG помогает системе отличать значащие изменения данных от шума и восстанавливать поток с приемлемой точностью.

Метод PGG может быть применён для геометрических паттернов, шаблон в этом случае будет характеризоваться набором коэффициентов для идентифицирующей кривой на временном промежутке, а значимые изменения наборов коэффициентов будут храниться в двусвязном списке.

Это позволит обеспечить компактное и удобное для применения в онлайн-режиме хранение информации о шаблонах в данных мониторинга.

**Литература. 1.** Клионский Д.М. Методы выявления аномальных событий в многокомпонентных измерительных сигналах на основе мультимасштабных и спектральных методов высокого разрешения. [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2012. – 18 с. **2.** Марчук В.И., Уланов А.П. Методы обнаружения и отбраковки аномальных результатов измерений // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2001. №2. –С.7–8. **3.** Сучкова Л.И. Подход к прогнозированию нештатных ситуаций в системах мониторинга с использованием паттернов поведения группы временных рядов / Л.И. Сучкова // Ползуновский вестник. – 2013. – №2. Режим доступа: [http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2013\\_02/pdf/088suchkova.pdf](http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2013_02/pdf/088suchkova.pdf). **4.** Sheng Ma and Joseph L. Hellerstein. «Mining Partially Periodic Event Patterns With Unknown Periods»// International Conference on Data Engineering. 2000. **5.** Faraz Rasheed, Mohammed Alshalalfa, and Reda Alhajj, Associate Member, IEEE. «Efficient Periodicity Mining in Time Series Databases Using Suffix Trees»// IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING, VOL. 23, NO. 1, JANUARY 2011. **6.** Johannes Assfalg, Thomas Bernecker, Hans-Peter Kriegel, Peer Kroger, Matthias Renz. «Periodic Pattern Analysis in Time Series Databases»// 14th International Conference, DASFAA'09, Brisbane, Australia, pp. 354-368, 2009. **7.** L Tang, B Cui, H Li, G Miao, D Yang, X Zhou «Effective variation management for pseudo periodical streams» // Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data, Brisbane, Australia, pp. 257-268, 2007.

**Реквизиты для справок:** магистрант ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им.И.И. Ползунова», кафедра информатики, вычислительной техники и информационной безопасности, магистрант Колдин И.Ю., E-mail: [yanva-koldin@yandex.ru](mailto:yanva-koldin@yandex.ru)

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМОГРАММ ПРИ АКТИВНОМ ТЕПЛОМ КОНТРОЛЕ КОМПОЗИТОВ

МАТВИЕНКО К.Г

В настоящее время актуальной проблемой неразрушающего контроля является разработка точных, надежных и простых в реализации методов теплового контроля, включая дистанционную оценку теплофизических свойств (ТФС), новых конструкционных, строительных, теплоизоляционных, облицовочных материалов и изделий. Методы теплового НК представляют высокотехнологичную область прикладных исследований, которая объединяет достижения в теории теплопередачи, ИК технологии и компьютерной обработки экспериментальных данных. Современный интерес к ТК обусловлен его универсальным характером, иллюстративностью результатов, высокой производительностью и безопасностью обслуживания ИК аппаратуры.

В тепловом контроле важную роль при интерпретации результатов играет опыт оператора. До настоящего времени отбраковка дефектов производится без количественных оценок, поэтому научная группа ТПУ специализируется на разработке алгоритмов и компьютерных программ для анализа дефектов.

**Цель работы:** изучить разброс параметров оценки дефектных характеристик (на примере кажущегося размера дефектов) для группы операторов с различным опытом. При этом работа оператора осуществляется по простому алгоритму выделения дефектных и бездефектных зон с количественной оценкой размеров дефектов.

## Дефектные и бездефектные зоны на образце №1.

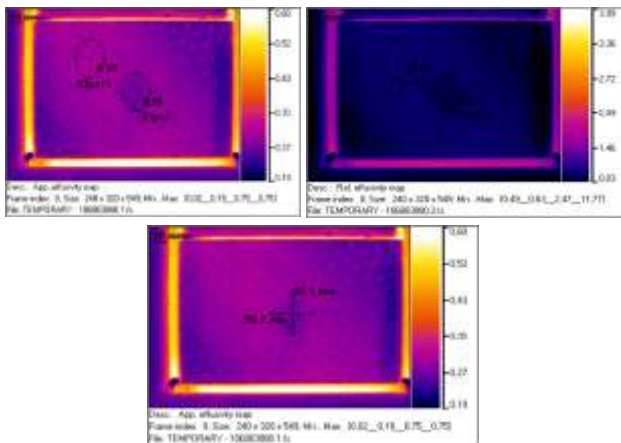


Рис. 1. Термограмма (образец №1, Оператор 1)

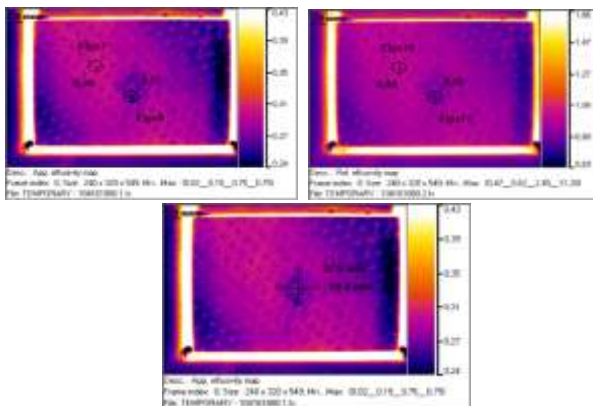


Рис. 2. Термограмма (образец №1, оператор 2)

Неточность измерений заключается в том, что при выборе зон одного и того же образца различными операторами результаты различаются. Это обусловлено субъективными особенностями каждого оператора. Более того, при повторении процедуры дефектометрии одним и тем же оператором, результаты будут также различаться.

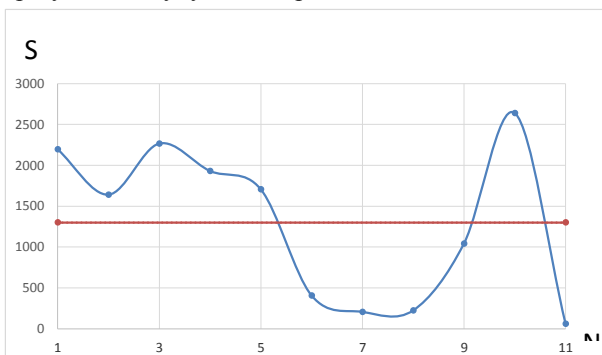


Рис. 3. График распределения замеров дефектной зоны для различных операторов (Образец №1)

Красная линия – среднее значение длины дефектной зоны для данной выборки.

В результате выполнения работы был составлен протокол испытаний улепластикового композита в компьютерной программе Soft Ware3.

Были выбраны зоны дефектные и бездефектные в образце №1. Построены графики распределения размера дефектов для каждого образца, используя массив данных, полученный группой операторов.

Проблему неоднозначных операторных оценок можно решить про-

граммным путем. Предложено при выборе оператором зоны, охватывающей дефект, автоматически определять максимальное значение температуры (вокруг центрального пикселя в выбранной маске) и затем усреднять температуру в зоне маски. Аналогичным образом программа будет анализировать бездефектные зоны. В докладе приводятся результаты сравнения обычного и автоматизированного алгоритма определения размеров ударных повреждений в углепластике.

**Литература.** 1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М: Спектр – 544с. 2. В.П. Вавилов, А.И. Иванов, Д.А. Нестерук, В.В. Ширяев. Методы и экспериментальная реализация импульсного теплового контроля плазменных покрытий // Известия ТПУ/ ТПУ – Томск, 2010 – Т.317, №4: Энергетика [с.5 – 9] – (Энергетика). 3. Союз производителей композитов.

**Реквизиты для справок:** *Реквизиты для справок: Россия, 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, Томский политехнический университет, Институт неразрушающего контроля, Матвиенко Константин Геннадьевич, тел.: 8-913-859-81-90. E-mail: matwei373@mail.ru.*

## **УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ ОБЪЕКТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ СЕКТОРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

СЕРИКБОСЫН Е.А., КАПРАНОВ Б.И.

В секторном сканировании используется оборудование с фазированными решетками. На сегодняшний день наиболее перспективным направлением развития ультразвукового контроля является технология фазированных решеток. Качество контроля значительно повышается при применении этой технологии при техническом диагностировании оборудования.

Технология ультразвуковой фазированной решетки основана на интерференции ультразвуковых волн и их генерировании. Преобразователь решетки состоит из множества пьезоэлектрических элементов, собранных в один преобразователь. Преобразователь содержит от 16 до 256 отдельных элементов. Для контроля всех элементов для формирования лучей используют программируемый генератор. В результате интерференции волн, исходящих от всех элементов, формируется результирующая волна под требуемым углом ввода, и производится сканирование, после чего генератор меняет угол ввода результирующей волны, и повторяется процесс сканирования.

**Целью работы** является анализ возможностей ультразвукового томографического контроля объектов цилиндрической формы на примере запорной арматуры высокого давления.

При использовании метода секторного сканирования генерируется ультразвуковой луч с настраиваемым углом ввода, размером фокусного пятна и фокусным расстоянием. В разных секторах фазированной решетки можно настроить генерирование луча. Эти функции открывают целый ряд новых возможностей. Например, можно быстро изменить направление сканирования и изменить параметры угла, не меняя местоположение датчика. Таким образом, эта технология заменяет собой целую гамму датчиков и некоторые механические компоненты. При контроле лучом с переменным углом коэффициент обнаружения дефектов, как правило, выше, вне зависимости от их ориентации. При этом соотношение сигнал-шум остается оптимальным. Графически схема формирования результирующей волны с разными углами ввода в металл показана на рис. 1.

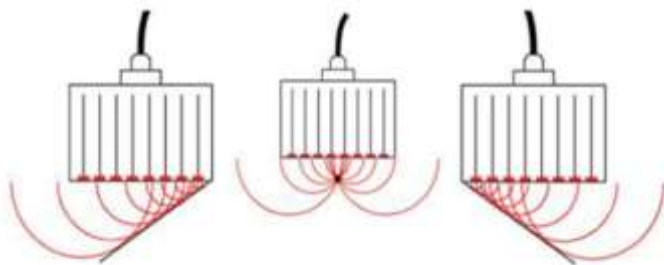


Рис. 1. Схема формирования в фазированной решетке результирующей волны с необходимым углом ввода в процессе интерференции составляющих ее волн

По сравнению с традиционным ультразвуковым контролем метод фазированной решетки более совершенен, чем метод, в котором используется одноэлементный преобразователь. Многие прикладные задачи дефектоскопии при техническом диагностировании используют фазированные решетки, так как контроль осуществляется гораздо быстрее, проще и качественнее.

Преимущества фазированных решеток: высокая вероятность обнаружения дефектов, высокая скорость контроля, расширенные возможности по составлению отчетов, повторяемость результатов, улучшенная визуализация процесса контроля и использование одного датчика для всех углов.

Все вышесказанное говорит о том, что с каждым днем возможности ультразвукового контроля постоянно возрастают. Улучшается интерфейс приборов, совершенствуется теоретическая база и развивается аппаратура. Визуализация контроля также идет в ногу со временем: для облегчения работы оператора в дефектоскопах применяются цветные LCD мониторы с подробной детализацией. Развитие методик документирования и архивирования результатов контроля выводит ультразвуковой контроль

на новый уровень. Раньше протокол контроля составлялся непосредственно со слов дефектоскописта, а сейчас оборудование позволяет производить автоматическую запись результатов контроля в файл и составлять трехмерное изображение обнаруженных дефектов.

Также плюсом является безвредность ультразвуковых методов по воздействию на оператора. При ультразвуковом контроле отсутствуют опасные для здоровья излучения.

Технологии ультразвукового контроля и современная аппаратура являются актуальным и удобным инструментом для решения экспертных задач. Возможность документирования результатов контроля при техническом диагностировании оборудования позволяет эксперту при необходимости воссоздать процесс контроля, более детально изучить структуру металла или сварного шва в нужной зоне, проанализировать обнаруженные специалистом дефекты для принятия какого-либо решения по оценке технического состояния конструкции.

**Литература. 1.** Капранов Б. И., Коротков М. М., Акустические методы контроля и диагностики: учеб. пособие / . – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 483 с. **2.** Крылов Н. А., Электронно-акустические и радиометрические методы испытаний материалов и конструкций, Л. – М., 1963. – 574 с.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 634000, Томск, ул. Савиных 7, Институт неразрушающего контроля, кафедра Физических методов и приборов контроля качества, доктору технических наук, профессору Капранову Б.И. тел. (3822) 595256 E-mail: [introbob@tpu.ru](mailto:introbob@tpu.ru)*

## РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

КИМ В.В.

Радиометрический метод контроля дефектов в изделиях и материалах основан на измерении степени ослабления интенсивности излучения, прошедшего сквозь просвечиваемый объект, с использованием сцинтилляционных, полупроводниковых, газоразрядных и других детекторов при сканировании объекта относительно источника излучения. Применение монохроматического излучения и острофокусных его источников дает высокую чувствительность и разрешение в выявлении дефектов.

Радиометрическая дефектоскопия – метод, с помощью которого получают информацию о внутреннем состоянии контролируемого изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением, в виде электрических сигналов. Этот метод позволяет осуществлять обратную связь и автоматизировать контроль технологического процесса изготовления изделия. Достоинство метода – проведение непрерывного высокопроизводительного контроля качества изделия, обусловленное высоким быстродействием

применяемой аппаратуры. При этом чувствительность метода не уступает радиографии. Широкое применение в радиометрической дефектоскопии нашли сцинтилляционные кристаллы.

### **1. Сцинтилляционный кристалл**

Работа сцинтилляционных счетчиков основана на регистрации вспышек света, возникающих в результате взаимодействия того или иного типа излучения с веществами, называемыми люминофорами. Вспышки света регистрируются с помощью светочувствительных устройств (сенсоров), это могут быть: фотоэлектронные умножители (ФЭУ), полупроводниковые фотодиоды или микроканальные пластины (МКП). На выходе сенсора образуется электрический импульс тока, который после усиления и формирования регистрируется электронной аппаратурой.

Широкое использование сцинтилляционных детекторов объясняется такими их свойствами, как:

- наличием сцинтилляторов требуемого объема для любого типа излучения:  $\gamma$ -квантов, нейтронов, заряженных частиц.

- высокой эффективностью регистрации (сцинтилляционный счетчик с кристаллом NaI(Tl) регистрирует 20 – 40% от числа попадающих на него  $\gamma$ -квантов энергией 662 кэВ, в то время как счетчик Гейгера-Мюллера в тех же условиях регистрирует лишь 0,5% попавших на него квантов);

- высоким временным разрешением (10<sup>-7</sup> – 10<sup>-9</sup> сек.);

- относительно простой и дешевой электроникой.

К числу недостатков сцинтилляционного метода следует отнести низкую разрешающую способность по энергии (6-8% , в лучшем случае, при энергии  $\gamma$ -квантов 662 кэВ) и сложность обработки спектров, полученных на сцинтилляционном спектрометре. Даже в простейшем случае, когда изотоп излучает  $\gamma$ -кванты одной энергии, амплитудный спектр импульсов с детектора имеет довольно сложный вид (рис. 1). Однако для решения многих научных и прикладных задач указанные недостатки не являются существенными.

Одним из самых лучших неорганических сцинтилляторов для гамма спектрометрии является кристалл NaI(Tl) (читается как натрий йод, активированный таллием). Кристалл этого типа используется в данной работе. Кристалл гигроскопичен, поэтому всегда упаковывается в герметичную оболочку. Типичная форма упаковки – цилиндр, у которого один торец (окно) делается прозрачным для выхода фотонов сцинтилляционной вспышки из кристалла. Другие поверхности кристалла, для обеспечения лучшего собирания света, покрываются светоотражательными материалами, например порошками MgO или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, см. рис. 1.

Данный сцинтиллятор может быть изготовлен в двух формах: в виде монокристаллов или в поликристаллическом виде. С точки зрения воз-

никновения вспышек света и прозрачности обе формы одинаковы, но поликристаллический NaI(Tl) более прочен и не подвержен растрескиванию, что важно для применения в полевых условиях или в космических исследованиях.



Рис. 1. Схематическое устройство сцинтилляционного детектора

Рассмотрим, в общих чертах, механизм возникновения светового импульса в твердом неорганическом кристаллическом сцинтилляторе, к сцинтилляторам такого типа принадлежит NaI(Tl). Будем использовать представления зонной теории строения кристаллов..

Под действием быстрой заряженной частицы и вторичных  $\delta$ -электронов электроны основного вещества кристалла переходят из валентной зоны в зону проводимости. Происходит возбуждение кристалла. Физически это означает отрыв электронов от узлов кристаллической решетки, т.е. их ионизацию (образуется дырка-отсутствие электрона). Электроны и дырки двигаются в кристалле в данном случае независимо. Возвращение электронов в валентную зону напрямую и рекомбинация их с дырками является маловероятным процессом. Однако, если это имеет место, то излучается фотон в ультра-фиолетовой области с  $\lambda < 155$  нм.

Гамма-дефектоскопия имеет те же физические основы, что и рентгенодефектоскопия, но используется излучение гамма-лучей, испускаемых искусственными радиоактивными изотопами различных металлов (кобальта, иридия, европия и др.). Используют энергию излучения от нескольких десятков кэВ до 1—2 МэВ для просвечивания деталей большой толщины. Этот метод имеет существенные преимущества перед рентгенодефектоскопией: аппаратура для гамма-дефектоскопии сравнительно проста, источник излучения компактный, что позволяет обследовать труднодоступные участки изделий. Кроме того, этим методом можно пользоваться, когда применение рентгенодефектоскопии затруднено (например, в полевых условиях). При работе с источниками рентгеновского и гамма-



излучений должна быть обеспечена биологическая защита. При радиационном контроле используют, как минимум, три основных элемента:

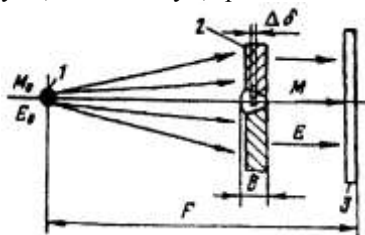


Рис. 2. Схема просвечивания  
1 – источник; 2 – объект контроля (ОК); 3 – детектор

Поток излучения источника, заключенного в защиту, проходит через контролируемое изделие и попадает на блок детектирования. Блок детектирования заключен в защиту с коллимационным каналом, через который беспрепятственно проходит узкий пучок излучения. При прохождении через изделие ионизирующее излучение ослабляется – поглощается и рассеивается. Степень ослабления зависит от толщины  $\delta$ , плотности  $\rho$  и атомного номера  $z$  материала контролируемого объекта, а также от интенсивности  $M$  и энергии  $E$  излучения. При наличии в веществе внутренних дефектов размером  $\Delta r$  изменяются интенсивность и энергия пучка излучения.

## 2. Источник гамма-излучения

В качестве источника излучения используется изотоп  $Co^{60}$ , с периодом полураспада 5,2 года, получают в ядерном реакторе) путем облучения стабильного кобальта ( $Co^{69}$ ) тепловыми нейтронами. Распад  $Co^{60}$  сопровождается испусканием  $\beta$ -частиц и двух  $\gamma$ -квантов;  $\beta$ -лучи поглощаются алюминиевым фильтром толщиной 0,2 мм. В практике используется только  $\gamma$ -излучение, характеризующееся большой проникающей способностью  $\gamma$ -излучение  $Co^{60}$  используется в промышленности для обнаружения дефектов

Упрощенная схема распада  $Co^{60}$  изображена на рис. 3.

## 3. Фотоэлектронные умножители

Фотоэлектронные умножители являются наиболее распространенными сенсорами фотонов сцинтилляционных вспышек и служат для преобразования последних в импульсы электрического тока. Основными элементами ФЭУ являются фотокатод, фокусирующие электроды, диодная система, заканчивающаяся анодом. Вся конструкция ФЭУ помещается, как правило, в стеклянный баллон с высоким вакуумом. Между электродами ФЭУ создаётся ускоряющее поле: каждый последующий электрод находится под более высоким потенциалом относительно предыдущего,

тем самым обеспечивается ускорение электронов между электродами ФЭУ. Первый электрод ФЭУ это фотокатод, на него, проходя через стекло колбы ФЭУ, попадают фотоны сцинтилляции. Обычное стекло обеспечивает пропускание фотонов с длиной волны большей 350 нм, если требуется понизить порог пропускания до 160 нм, используется кварц, фиолетовое или боросиликатное стекло.

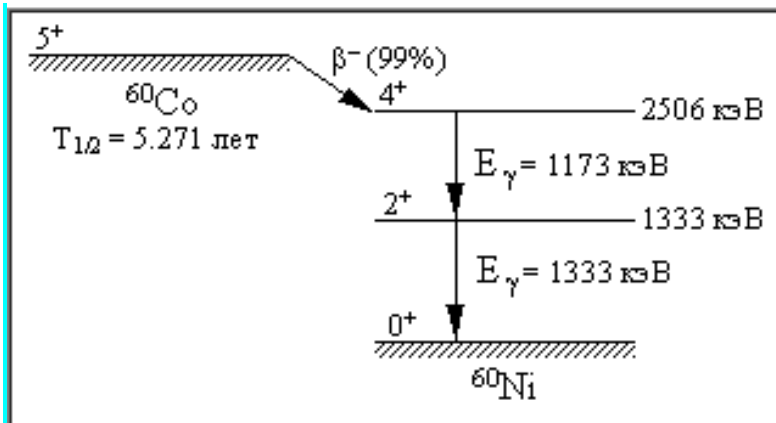


Рис. 3. Упрощенная схема распада  $Co^{60}$

Конструктивно фотокатод – это полупрозрачный многокомпонентный светочувствительный слой, напыленный на внутреннюю поверхность торца колбы. Равномерность покрытия фотокатода сильно влияет на амплитудное разрешение ФЭУ.

В результате взаимодействия фотонов с веществом фотокатода из него будут испущены электроны. Электроны, покинувшие фотокатод, фокусируются и ускоряются в промежутке катод – первый динод до энергии в несколько сот электрон-вольт. Попав на первый динод, электрон выбивает несколько вторичных электронов. Типичное значение коэффициента вторичной эмиссии  $3 = 4-5$ . Электроны, выбитые из первого динода, ускоряются и фокусируются на втором диноде, где, в свою очередь, вызывают вторичную эмиссию. На следующем диноде процесс размножения электронов продолжается. Как правило, в ФЭУ устанавливается 10-12 динодов. В конце концов, ступок электронов, приблизительно повторяющий форму сцинтилляционной вспышки, проходит через анодную цепь и создает падение напряжения на сопротивлении нагрузки в цепи анода. Этот импульс напряжения формируется, усиливается и регистрируется электронной аппаратурой.

#### 4. Взаимодействие гамма-квантов с веществом.

Гамма-излучение обладает высокой проникающей способностью, од-

нако взаимодействие  $\gamma$ -излучения с веществом сложнее, чем при корпускулярном излучении.

При прохождении через вещество гамма-кванты взаимодействуют с электронами и ядрами, в результате их интенсивность уменьшается. К потерям энергии  $\gamma$ -излучения приводят процессы, связанные с фотоэффектом (рис.5), комптоновским рассеянием электронов в веществе (рис. 6) и образованием электрон-позитронных пар (рис. 7). Вклад каждого из процесса в ослабление  $\gamma$ -излучения зависит от энергии  $\gamma$ -квантов ядерного излучения и параметра  $Z$  вещества-поглотителя. Общая закономерность заключается в том, что вероятность потери энергии в процессе фотоэффекта и комптоновского рассеяния снижается с ростом энергии  $\gamma$ -излучения, а вероятность образования электронпозитронных пар растет (начиная с энергии 1,02 МэВ) с повышением энергии  $\gamma$ -кванта. Вероятность потери энергии  $\gamma$ -квантов с ростом параметра  $Z$  пропорционально  $Z$  – для комптоновского рассеяния,  $Z^2$ -для процессов образования электрон-позитронных пар и  $Z^4$  для процессов фотоэффекта. Иначе, с ростом параметра  $Z$  и энергии  $\gamma$ -излучения будет увеличиваться вероятность процессов в ряду: фотоэффект – комптоновское рассеяние – возникновение электрон-позитронных пар. Различные механизмы взаимодействия  $\gamma$ -излучения с веществом показаны на рис. 4.

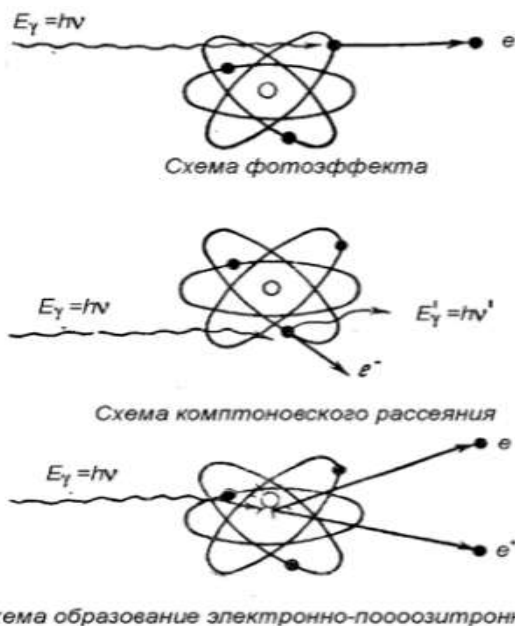


Рис. 4. Различные механизмы взаимодействия  $\gamma$ - излучения с веществом

В области энергий до 10 МэВ наиболее существенными процессами являются фотоэффект, эффект Комптона и образование электрон-позитронных пар. При энергии гамма-квантов больше 10 МэВ превышает порог фотоядерных реакций и в результате взаимодействия фотонов с ядрами становятся возможны реакции типа  $(\gamma, p)$ ,  $(\gamma, n)$ ,  $(\gamma, \alpha)$ . Сечения фотоядерных реакций в области энергий до 100 МэВ составляют 1% полного сечения взаимодействия гамма-квантов с атомом. Однако фотоядерные реакции необходимо учитывать в процессах преобразования фотонного излучения в веществе, так как вторичные заряженные частицы, такие как протоны и альфа-частицы, могут создавать высокую плотность ионизации.

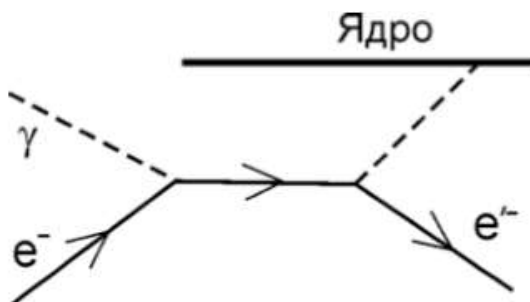


Рис. 5. Фотоэффект

Фотоэффект – явление, связанное с освобождением электронов твердого тела (или жидкости) под действием электромагнитного излучения. Различают внешний фотоэффект – испускание электронов под действием света (фотоэлектронная эмиссия),  $\gamma$ -излучения и др.; внутренний фотоэффект – увеличение электропроводности полупроводников или диэлектриков под действием света (фотопроводимость); вентильный фотоэффект – возбуждение светом эдс на границе между металлом и полупроводником или между разнородными полупроводниками. Фотоэффектом называется такое взаимодействие  $\gamma$  – кванта с атомом, при котором  $\gamma$  – квант поглощается (исчезает), а из атома вырывается электрон. Одна часть энергии  $\gamma$ – кванта  $E_\gamma$  расходуется на разрыв связи электрона с ядром  $\varepsilon_{e^-}$ , другая часть преобразуется в кинетическую энергию электрона  $E_{e^-}$ :

$$E_\gamma = E_{e^-} - \varepsilon_{e^-}$$

Таким образом, при фотоэффекте часть энергии первичного гамма-кванта преобразуется в энергию электронов (фотоэлектроны и электроны Оже), а часть выделяется в виде характеристического излучения.

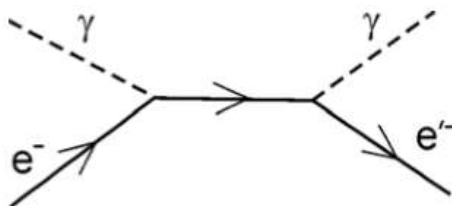


Рис. 6. Эффект Комптона

После вылета фотоэлектрона в атомной оболочке образуется вакансия. Переход менее связанных электронов на вакантные уровни сопровождается выделением энергии, которая может передаваться одному из электронов верхних оболочек атома, что приводит к его вылету из атома (эффект Оже). Фотоэффект происходит только тогда, когда энергия  $\gamma$  – кванта больше энергии связи электрона в оболочке атома. Фотоэлектрон движется почти перпендикулярно направлению распространения поглощенного  $\gamma$  – кванта. Движение фотоэлектрона совпадает с направлением колебания электрической напряженности электромагнитного поля. Это показывает, что фотоэлектрон вырывается из атома электрическими силами. Фотоэлектрическое поглощение  $\gamma$  – квантов увеличивается с ростом связанности электронов в атоме. Фотоэффект практически не наблюдается на слабо связанных электронах атома. При энергии  $\gamma$  – кванта  $E_\gamma \gg \epsilon_e$  их можно считать свободными. Такой электрон не может поглощать  $\gamma$  – квант. Свободный электрон, поглотив  $\gamma$  – квант, должен бы двигаться со скоростью, в два раза большей скорости света, чего не может быть.

Фотоэффект в основном происходит на K – и L – оболочках атомов. Линейный коэффициент ослабления фотоэффекта резко уменьшается с увеличением энергии, и при энергиях свыше 10 МэВ в свинце практически не возникают фотоэлектроны. На слабо связанных атомных электронах происходит рассеяние  $\gamma$  – квантов, называемое комптон – эффектом. Взаимодействие  $\gamma$  – кванта с электроном в комптон-эффекте представляется как столкновение двух упругих шариков с массами  $m_\gamma = \frac{E_\gamma}{c^2}$  и  $m_e$ .

Эффект Комптона – упругое рассеяние электромагнитного излучения малых длин волн (рентгеновского и  $\gamma$ -излучения) на свободных электронах, сопровождающийся увеличением длины волны  $\lambda$ . Эффект Комптона подтвердил правильность квантовых представлений об электромагнитном излучении как о потоке фотонов и может рассматриваться как упругое столкновение двух частиц – фотона и электрона, при котором фотон передает электрону часть своей энергии (и импульса), вследствие чего его частота уменьшается, а  $\lambda$  увеличивается.

Комптона эффект обратный – упругое рассеяние на электронах высокой энергии, приводящее к увеличению энергии (частоты) фотонов

(уменьшению длины волны). Комptonовская длина волны – величина, имеющая размерность длины и указывающая область проявления релятивистских квантовых эффектов. Для частицы массы  $m$  комptonовская длина волны  $\lambda_0 = h/mc$ , где  $h$  – постоянная планка,  $c$  – скорость света. Для электрона  $\lambda_0 = 3,86 \cdot 10^{-11}$  см, для протона  $\lambda_0 = 2,10 \cdot 10^{-14}$  см.

Оже эффект – эффект автоионизации атома, протекающий в два этапа: 1) образование вакансии в одной из внутренних оболочек атома при его облучении (например, быстрыми электронами); 2) заполнение этой вакансии электроном одной из вышележащих оболочек этого же атома и одновременный вылет другого электрона (оже-электрона) с этой или с еще более высоколежащей оболочки. По энергии оже-электронов можно установить электронную структуру участвующих в оже эффекте атомов. В случае эффекта Комптона, часть энергии  $\gamma$ -кванта преобразуется в кинетическую энергию электронов отдачи, а часть энергии уносит рассеянный фотон. Вероятность рассеяния  $\gamma$ -квантов в случае эффекта Комптона зависит от плотности атомных электронов  $n_e \sim Z$ , то вероятность Комpton-эффекта определяется порядковым номером вещества  $Z$ . Рассеяние  $\gamma$  – квантов происходит главным образом на слабосвязанных электронах внешних оболочек атомов. Линейный коэффициент ослабления комpton – эффекта пропорционален отношению  $Z/E\gamma$ . Поэтому с увеличением энергии доля рассеянных  $\gamma$  – квантов уменьшается.



Рис. 7. Эффект образования электрон-позитронных пар

**Литература. 1.** Кулешов В.К., Сертаков Ю.И., Ефимов П.В., Физические и экспериментальные основы радиационного контроля и диагностики: учеб. пособие. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. – 341 с. **2.** Крылов Н. А., Электронно-акустические и радиометрические методы испытаний материалов и конструкций, Л. – М., 1963. – 574 с.

**Реквизиты для справок:** Россия, 634000, Томск, ул. Савиных 7, Институт неразрушающего контроля, кафедра физических методов и приборов контроля качества, магистранту Киму В.В. тел. (3822) 595256

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ В КАЧЕСТВЕ ПРИЕМНОГО ТРАКТА АКУСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

ЕРМОЛИН К.С., КИРИЛЛОВ А.И., ШЕЛКОВНИКОВА Т.Е.

Технология ПОР (программно-определяемая радиосистема, Software-defined radio, SDR), применяемая в современных радиопередатчиках или радиоприемниках, очень многогранна и позволяет программно осуществлять переконфигурацию радиосистемы. Благодаря принципу прямого преобразования информации она дает возможность обрабатывать сигналы в широком диапазоне частот (от сотен кГц до единиц ГГц). RTL-SDR – это целое семейство недорогих доступных тюнеров с функцией ПОР. Данные устройства способны принимать высокочастотный (ВЧ) сигнал и передавать его в цифровом виде в персональный компьютер (ПК) [1]. Как и все аналоговые устройства с прямым преобразованием сигнала, RTL-SDR содержат генератор основной частоты RF, смеситель, фильтры. Наличие в открытом доступе динамических библиотек для работы с RTL-SDR позволяет создавать программы для решения конкретных прикладных задач [3].

Необходимо отметить, что наличие быстродействующего АЦП и возможность подключения к компьютеру позволяют применять данное устройство не только в качестве тюнера для стандарта DVB-T, но и при получении аналоговых данных для научных исследований, в частности, в акустической микроскопии или в информационно-измерительных системах (ИИС) на основе эффекта акустической эмиссии [2]. Для этих целей выбран стандартный тюнер RTL-SDR, состоящий из двух основных микросхем (R820T и RTL2832). Первая микросхема – это тюнер, поддерживающий все современные стандарты DVB-T, ATSC, DTMB и ISDB-T. Он содержит малошумящий усилитель, смеситель, синтезатор с фазовой автоподстройкой частоты с дробным коэффициентом деления, усилитель с регулируемым коэффициентом усиления и следящий полосовой фильтр [4]. Данная микросхема необходима для перевода сигнала с шириной спектра 3МГц [5] на промежуточную частоту (ПЧ). Далее сигнал ПЧ передается в следующую микросхему по I каналу [6]. На рис. 1 приведена структурная схема R820T [7]. Вторая микросхема – это RTL2832, которая позволяет оцифровывать сигнал и демодулировать его. Принцип работы микросхемы заключается в следующем. Входной сигнал от тюнера оцифровывается с помощью высокоскоростного АЦП, работающего на частоте

те 28,8МГц. Далее оцифрованный сигнал обрабатывается в сигнальном процессоре – сигнал поступает на два смесителя, в которых происходит его умножение с сигналом промежуточной частоты.

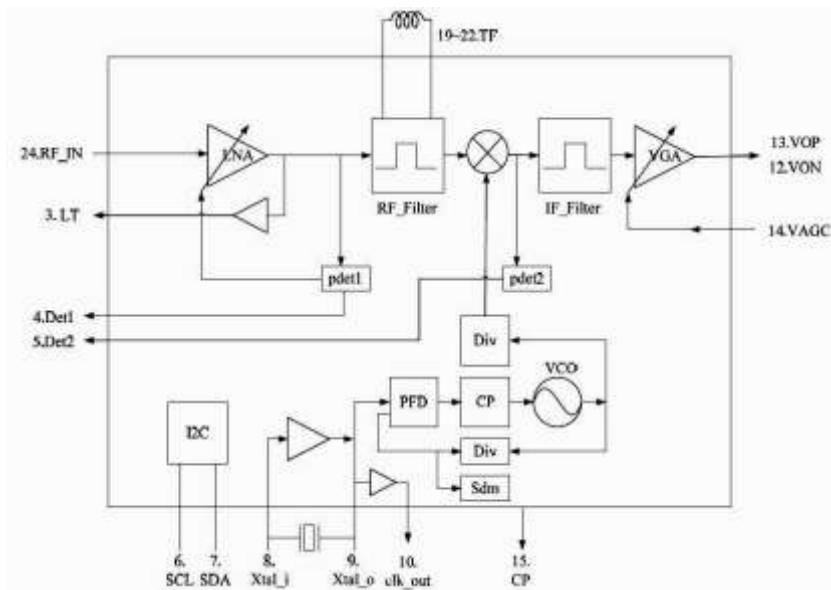


Рис. 1. Структурная схема микросхемы R820T

Следует отметить, что один из сигналов ПЧ сдвинут по фазе относительно другого на 90°. С помощью цифрового фильтра низких частот осуществляется их фильтрация от шумов и выделение сигнала ПЧ. Так происходит смещение несущей частоты полезного сигнала в область ПЧ. После этого оба сигнала проходят ресемплирование с целью снижения частоты дискретизации сигнала до 3,2 МГц. Эта процедура необходима для того, чтобы информацию можно было передать по шине USB2.0 в компьютер [8]. Структура данной микросхемы приведена на рис. 2.

Прием данных в компьютере осуществляется с помощью программного обеспечения, использующего динамические библиотеки. Для начала работы с устройством необходимо установить на него драйвер и проинициализировать приемное устройство, т.е. определить количество и тип подключенных микросхем RTL-SDR. Далее необходимо задать основную частоту, относительно которой будет приниматься ВЧ сигнал, а также частоту опроса АЦП (например, 3,2 МГц).



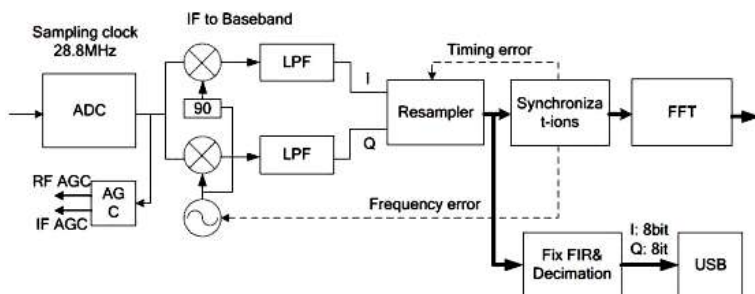


Рис. 2. Структурная схема микросхемы RTL2832

Особенностью тюнера также является наличие режима прямой оцифровки данных. Для этого на неиспользуемый канал Q микросхемы RTL2832 необходимо подать аналоговый сигнал, и при инициализации устройства выставить режим прямой оцифровки.

При проектировании программ с большими скоростями принимаемых данных возможно «зависание» интерфейса самой программы. Это вызвано тем, что исполняемый код программы занимает много процессорного времени. Создаются серьезные неудобства при работе с устройством и приемом данных от него. Для решения этой проблемы в среде Delphi был создан отдельный класс TThread (рис.3) для работы с устройством по методологии объектно-ориентированного программирования (ООП). При запуске программы в компьютере создается дополнительный поток (нить, thread), который обрабатывается на центральном процессоре компьютера. При этом из основного потока (интерфейсного) можно управлять дополнительным: запускать или приостанавливать. Это позволяет принимать данные от устройства с большой скоростью и обрабатывать их в режиме реального времени. На рис. 3 показана структурная схема разработанного ПО, где основной модуль также связан с интерфейсом программы.

Для применения в акустической микроскопии для исследования композитных пломбировочных материалов, данный RTL-SDR тюнер позволяет работать и оцифровывать ВЧ сигналы с акустической линзы без применения дополнительных блоков [9], так как расшифровка, декодирование, запись и интерпретация производятся в персональном компьютере с применением программного обеспечения.

Высокая скорость оцифровки принимаемых аналоговых сигналов позволяет использовать тюнер в исследовании акустической эмиссии композитных пломбировочных материалов. Большое число выборок обеспечивает получение достаточно полных данных с датчика акустической эмиссии как в статическом, так и в динамическом режимах работы силового блока разработанной ИИС [10]. Широкая полоса частот (до 3,2МГц)

позволяет получать акустические колебания от образца даже в области ультразвуковых частот.

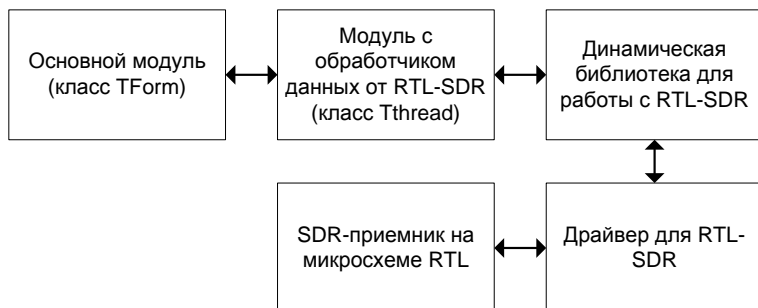


Рис. 3. Структурная схема разработанного ПО

Таким образом, гибкость ПОР-технологии позволяет применять её не только в радиосистемах, но и в других областях, например, в акустической микроскопии или при проведении исследований с применением ИИС на основе эффекта акустической эмиссии. Существующие библиотеки для работы с RTL-SDR позволяют легко создавать различные приложения для решения конкретных задач. Следует отметить, что применение микросхем R820T и RTL2832 позволяет просматривать спектр сигналов шириной до 3,2МГц в диапазоне частот от 100кГц до 1850МГц. Это обеспечивает широкое окно акустических сигналов от акустического тензометрического датчика при проведении испытаний композитных пломбирочных материалов, которое позволяет принимать ультразвуковые сигналы. При использовании этого же комплекта микросхем в акустической микроскопии возможно получать данные от акустического датчика на высокой частоте, а ширина окна в 3,2МГц позволяет осуществлять поиск резонансных гармоник, отличных от основной несущей частоты. В заключение необходимо отметить, что применение ООП для разработки программного обеспечения позволяет получать данные от RTL2832 в режиме реального времени.

**Литература. 1.** Технология SDR в общих чертах / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL:<http://www.radioexpert.ru/articles/sdr-i-ddc-priemniki-i-transivery/95/> (дата обращения 20.04.17) **2.** Шелковников Е. Ю., Кириллов А. И., Осипов Н. И., Кизнерцев С. Р., Ермолин К. С. Особенности разработки и применения информационно-измерительной системы для изучения прочностных характеристик композитных материалов // Труды ИМ УрО РАН «Проблемы механики и материаловедения», 2016 – С. 317-326 **3.** Пример работы RTL-SDR с исходным кодом / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://raxp.radioliga.com/cnt/s.php?p=rtl3.zip>

(дата обращения 12.04.17) **4.** Описание к микросхеме R820T / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: [http://rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2013/04/R820T\\_datasheet-Non\\_R-20111130\\_unlocked.pdf](http://rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2013/04/R820T_datasheet-Non_R-20111130_unlocked.pdf) (дата обращения 12.04.17) **5.** Радиоприемник 60-1700 МГц на RTL2832 за 20 баксов или SDR для начинающих / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <https://habrahabr.ru/post/149698/> (дата обращения 18.04.17) **6.** Доработка SDR на RTL2832U и R820T / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://22dx.ru/dorabotka-sdr-na-rtl2832u-i-r820t/> (дата обращения 10.04.17) **7.** USB DVB-T stick als spectrum-analyzer (R820T+RTL2832U) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://grauonline.de/wordpress/?p=722> (дата обращения 02.04.17) **8.** Форум Radioscanner.ru «Результаты расчета в мат.пакете Mathcad» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://www.radioscanner.ru/forum/topic43831.html> (дата обращения 15.04.17) **9.** Ермолин К.С. Применение циркулятора и SDR-приемника в сканирующем акустическом микроскопе // Сборник трудов региональной научно-технической очно-заочной конференции «Информационные технологии в науке, промышленности и образовании», 2014.– С.261-265. **10.** Кириллов А.И. Особенности контроля прочностных характеристик пломбировочных материалов // Материалы XV международной НТК «Измерения, контроль, информатизация».– Барнаул: АлтГТУ, 2014. – С.142-144.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 426067, г.Ижевск, ул. Т. Барамзиной 34, Институт прикладной механики УрО РАН, Кириллову А.И., т.(3412)-508200, E-mail: iit@udman.ru.*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ КРУПНОГАБАРИТНОЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК**

СЕРИКБОСЫН Е.А., КАПРАНОВ Б.И.

Наиболее информативным методом ультразвукового (УЗ) контроля является метод отражения (эхо-метод). Его широко применяют в разных вариантах для контроля металлоконструкций. Он позволяет получить детальные количественные характеристики дефектов конструкции при одностороннем к ней доступе. Существующая дефектоскопическая УЗ аппаратура обладает весьма высокими техническими характеристиками и сервисными возможностями. Чувствительность ее вполне позволяет обнаруживать в мелкоструктурных сталях несплошности порядка десятых долей миллиметра, а разрешающая способность находится на уровне 0,5 – 1 мм.

Наряду с традиционной аппаратурой, представленной сегодня десятками типов УЗ дефектоскопов общего и специального назначения, недав-

но появился и достаточно интенсивно развивается новый класс дефектоскопических приборов – УЗ томографы, основанные на методах отражения, в которых для излучения и приема УЗ волн используются решетки пьезоэлементов, конструктивно объединенных в одном корпусе. Способов управления направленностью поля решеток несколько. Чаще всего применяют способ временной фазировки пьезоэлементов (распределения взаимных задержек сигналов), поэтому решетки в такой аппаратуре обычно называют фазированными решетками. На рисунке 1 показан преобразователь на основе фазированной решетки.

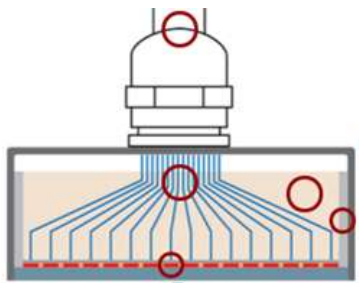


Рис. 1. Преобразователь с фазированной решёткой в сечении

Ультразвуковой контроль фазированными решетками имеет преимущества перед обычным УЗК. Можно изменять угол наклона луча и фокусировку. Регулируемая геометрия эхо-сигналов минимизирует ложные индикации. Фазированные решетки позволяют обследовать геометрически сложные детали без необходимости перемещения объекта или датчика.

На многоэлементные преобразователи для НК дополнительно могут устанавливаться призмы различной формы для ввода поперечной волны под большим углом к поверхности или для компенсации формы объекта контроля.

Призмы используются при контроле продольными и поперечными волнами, а также при линейном сканировании прямым преобразователем. Призмы выполняют одинаковую функцию как в системах с фазированными решетками, так и в традиционных одноэлементных преобразователях, т.е. передают звуковую энергию из преобразователя в объект контроля таким образом, что она изменяется и/или преломляется под нужным углом в соответствии с законом Снеллиуса. Поскольку ФР-система использует функцию управления лучом для направления лучей под разными углами, данный эффект преломления является частью процесса генерации луча. Чаще всего призмы изготавливают из органического стекла (огрстекло).

Закон синусов (формула 1) имеет вид:

$$\frac{\sin \beta}{c_{орг}} = \frac{\sin \alpha_l}{c_l} = \frac{\sin \alpha_t}{c_t} \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол падающей УЗ волны,  $\alpha_l$  – угол преломленной продольной волны в стали,  $\alpha_t$  – угол преломленной поперечной волны в стали,  $C_{орг}$  – скорость продольной волны в оргстекле (2700 м/с),  $C_l$  и  $C_t$  – скорости продольных и поперечных волн в стали (5900 м/с и 3300 м/с соответственно).

Объектом контроля (см. рисунок 2) является крупногабаритная запорная арматура высокого давления (с диаметрами от 470 до 1500 мм). Процесс литья и изготовления крупногабаритной трубопроводной арматуры высокого давления достаточно трудоемок и дорог. Выявление скрытых дефектов изделий на ранних стадиях производства позволяет получить существенную экономию конечной стоимости продукции.

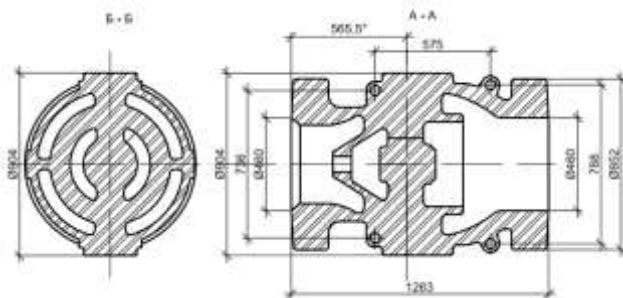


Рис. 2. Объект контроля – крупногабаритная запорная арматура высокого давления

Решение данной задачи может быть достигнуто на основе разработки методики ультразвукового томографического контроля крупногабаритной трубопроводной арматуры высокого давления.

Для решения данной задачи необходимо разработать призму преобразователя на ФР.

При разработке призм расчет вводится в пределах ближней зоны, так как УЗК пучок можно считать параллельным. Рассчитаем значение в ближней зоне  $X_{бл}$  для оргстекла:

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{2700 \text{ м/с}}{5 \text{ МГц}} = 2,2 \text{ мм},$$

где  $C$  – скорость продольной волны в оргстекле (2700 м/с),  $f$  – частота (5 МГц).

$$X_{бл} = \frac{a^2}{\lambda} = \frac{144}{2,2} \approx 70 \text{ мм}.$$

Следовательно, расстояние ближней зоны берём равным 20 мм., т.е. не более  $X_{бл} = 70$  мм.

Рассчитываем направления движения преломленных поперечных и продольных волн в изделии и эффективность их возбуждения.

Рассчитываем углы преломлений продольных ( $\alpha_l$ ) и поперечных ( $\alpha_t$ ) волн используя формулу 1.

Ниже представлены формулы (2 и 3) для нахождения коэффициентов прохождения для продольной ( $D_t$ ) и поперечной ( $D_l$ ) волн.

$$D_t = tg\gamma_l \cdot \beta \quad (2)$$

$$tg\gamma_l = \arctg \frac{0,025}{f} = \frac{0,025}{5} = 0,28 ,$$

где  $\beta$  – угол падения УЗ волны,  $f$  – частота (5МГц),  $\gamma_l$  – угол преломленной поперечной волны.

$$D_t = tg\gamma_l \cdot \beta = 3,171 \cdot 0,28 = 0,88 \text{ отн.ед}$$

$$D_l = 0,24 - \frac{0,03}{10} \cdot \beta \quad (3)$$

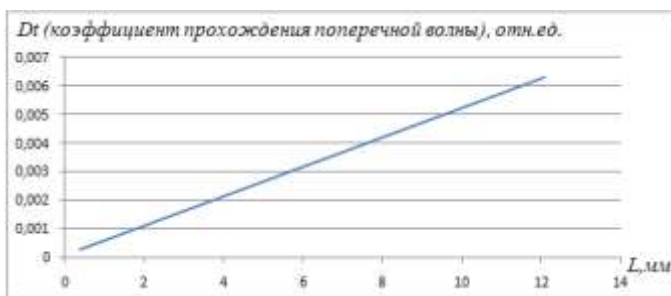


Рис. 4. График зависимости  $D_t$  от расстояния  $L$

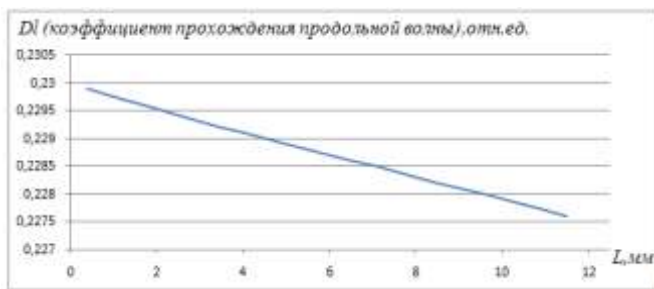


Рис. 5. График зависимости  $D_l$  от расстояния  $L$

**Заключение:** По полученным коэффициентам прохождений видно, что в продольной коэффициент больше чем в поперечной волне. Наглядно это видно на графиках 9 и 10. Практически в изделие будут распространяться продольные волны.

**Литература.** 1. Капранов Б. И., Коротков М. М., Акустические методы контроля и диагностики: учеб. пособие / . – Томск : Изд-во ТПУ, 2010.- 483с. 2. Крылов Н. А., Электронно-акустические и радиометрические

методы испытаний материалов и конструкций, Л. – М., 1963.-574 с. 3.  
Ощепков П. К., Меркулов А. П., Интроскопия, М., 1967.

**Реквизиты для справок:** Россия, 634000, Томск, ул. Савиных 7, Институт неразрушающего контроля, кафедра Физических методов и приборов контроля качества, доктору технических наук, профессору Капанову Б.И. тел. (3822) 595256 E-mail: [introbob@tpu.ru](mailto:introbob@tpu.ru)

## **КОРРЕКЦИЯ АПЕРТУРНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В ОБЪЕМЕ**

МУХОРЬЯНОВ Р.Б., КАПАНОВ Б.И.

Если представить выходной сигнал  $p(x)$  как свертку исходной  $p(x)$  и апертурной  $h(x)$  функции, то для реконструкции выходного сигнала  $p(x)$  нам понадобится теорема, о свертке которая говорит, что свертка двух сигналов эквивалентна умножению преобразований Фурье этих сигналов.

$$h(x) = \frac{dn(x)}{dx} \quad (1) \quad F[p(x)] = \frac{F[n(x)]}{F[h(x)]} \quad (4)$$

$$n(x) = p(x) * h(x) \quad (2) \quad p(x) = F^{-1}(F[p(x)]) \quad (5)$$

$$F[n(x)] = F[p(x)] * F[h(x)] \quad (3)$$

В этой работе мы принимаем использование сдвига инвариантной модели процесса размытия  $h(x)$ , с использование операции математической свертки одномерных сигналов.

### **Коррекция апертурных искажений**

Ввиду важности частотной области преобразования Фурье (FFT) оно стало одним из наиболее широко используемых инструментов анализа сигналов. Преобразование Фурье генерируется путем проецирования сигнала к набору базисных функций, каждая из которых представляет собой синусоиду с уникальной частотой.

Рассмотрим теоретический сигнал (рис.1, б) имитирующий образец с включениями плотности  $p(x)$  расположенными на разном расстоянии друг от друга. На (рис. 1, в) выведен результат свертки  $h(x)*p(x)$ , хорошо видны искажения выходного сигнал  $n(x)$ , для его реконструкции нам потребуются преобразования Фурье (рис.1, г) функций  $h(x)$  и  $n(x)$  уравнение (4). Также из уравнения (4) видно для получения спектра теоретической плотности необходимо поэлементное деление спектров  $n(x)/h(x)$ , результат деления спектров представлен на (рис.1, д). Восстанавливаем сигнал из значений проекций уравнение (5). Реконструированный сигнал (рис.1, е) полностью соответствует исходной  $p(x)$  теоретической плотности.

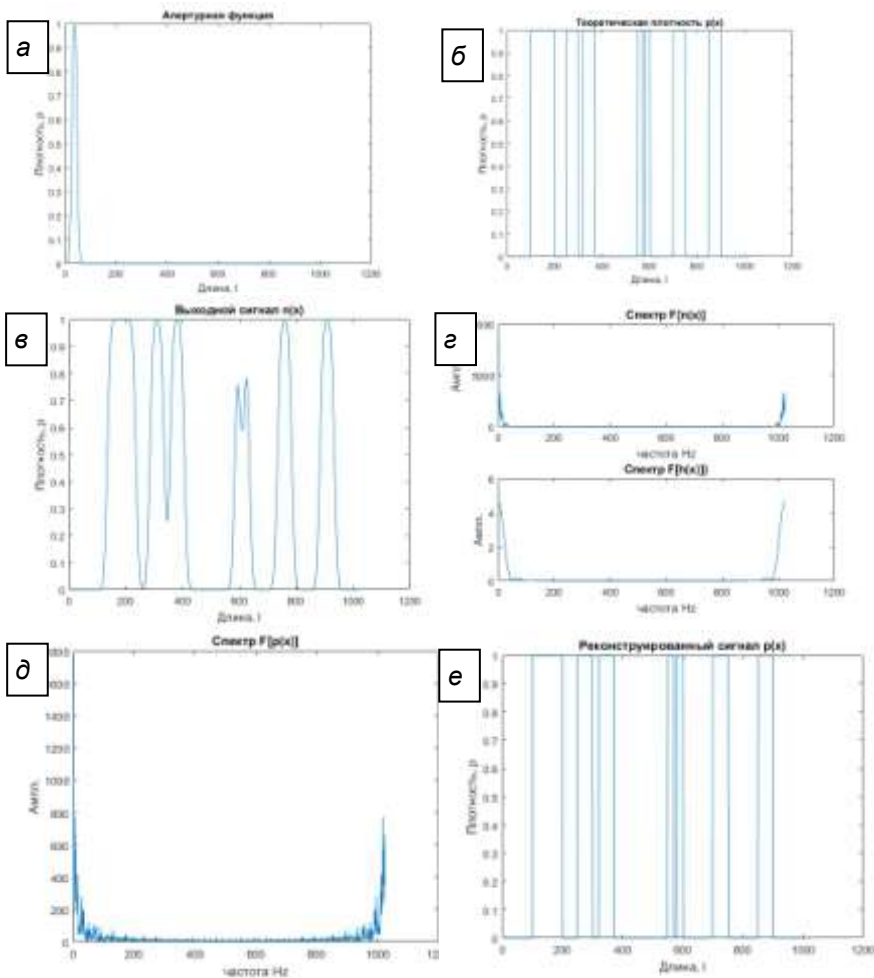
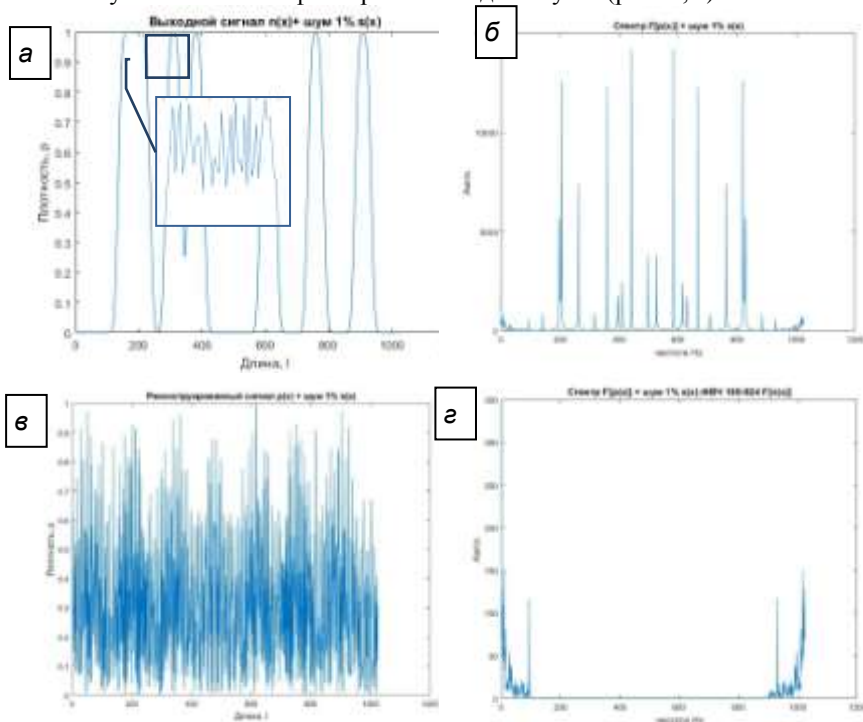


Рис. 1. Процесс реконструкции теоретической плотности  $p(x)$

Реальные сигналы искажены шумами, аддитивный шум который вносит система мы симулируем изменением уравнения (2). На (рис. 2, а) выведен искаженный сигнал. Шумы раскрываются в спектре деления (рис. 2, б), на выходе при обратном преобразовании получаем полностью искаженный сигнал (рис. 2, г). Для решения данной проблемы воспользуемся ФВЧ для  $F[p(x)]$ . Результат фильтрации наблюдаем на (рис. 2, г). Реконструированный сигнал (рис. 2, д) с точностью в 1 пиксель позволяет определить положение эмитированных



включений, однако он имеет сильные искажения их причиной выступаю два пика (рис. 2, г). Фильтруя этот спектр (рис. 2, е), получаем сигнал с минимальными искажениями (рис. 2, ж), для идеальной картины воспользуемся оконным фильтром и сгладим шумы (рис. 2, з).



**Заключение.** Так как множество экспонент образуют ортогональный базис, сигнал может быть восстановлен из значений проекций, используя эту особенность преобразования Фурье, при применении теоремы о светке и последующей фильтрации спектров можно реконструировать реальный сигнал, тем самым повысив разрешающую способность прибора.

**Список литературы:** 1. Капранов Б.И. Разработка метода и средств реконструктивной комптоновской томографии. Диссертация д.т.н., ТПУ, Томск, 2000 – 257 с. 2. J. Chantas, N. P. Galatsanos, N. Woods, 2007 Super Resolution Based on Fast Registration and Maximum A Posteriori Reconstruction, IEEE Trans. on Image Processing, 1618211830. 3. K. R. Castleman, 1996 Digital Processing, Eglewood Cliffs, NJ: Prentice– Hall. 4. В.И. Солодушкин, В.А. Клименов, В.А. Удод, А.К. Темник, Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317. № 4.

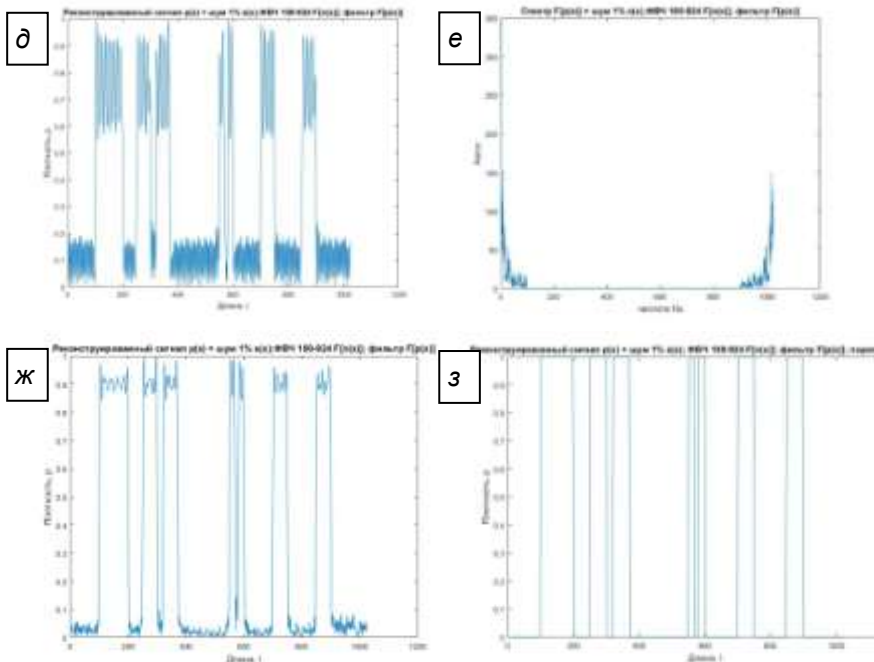


Рис. 2. Процесс реконструкции теоретической плотности  $p(x)$  с добавлением шумов

**Реквизиты для справок:** Россия, 634050, Томск, ул. Ленина 30. Институт неразрушающего контроля, Мухорьянов Р.Б., тел. 89138448954. E-mail: [muhoryanov@gmail.com](mailto:muhoryanov@gmail.com).

## **6 ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

### **НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ В СИСТЕМЕ ЭДО ОРГАНА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ**

ЗАГИНАЙЛОВ Ю.Н., НОРДГЕЙМЕР И.В., САННИКОВ А.В.

В соответствии с программами Правительства Российской Федерации в органах исполнительной власти и местного самоуправления вводится система электронного документооборота (ЭДО)[1]. В настоящее время заканчивается внедрение ЭДО в органах государственной власти регионального уровня. Однако при этом, возникает ряд проблем, относящихся к области защиты информации, и в частности, связанных с использованием электронной подписи (ЭП) и регулированием ее применения в ходе процесса документооборота. Общие задачи обеспечения защиты информации в ИС реализующей ЭДО, решаются в рамках системы защиты информации этого органа исполнительной власти. А вот для реализации ЭДО с использованием ЭП необходима разработка нормативных и методических документов, так как степень регулирования применения ЭП со стороны государства очень высока и высоки угрозы нарушения юридической значимости документа.

Для решения такой задачи определены состав и структура нормативных и методических документов, их конкретное содержание, обеспечивающее функционирование ЭДО в правительстве Алтайского края с использованием ЭП.

В качестве исходных данных для определения требований к нормативному и методическому обеспечению были использованы требования регуляторов [1-4] и уязвимости системы электронного документооборота [5], определённые авторами применительно к САДД «Дело». С учётом анализа множества документов регуляторов по ЭДО, документов регуляторов по использованию ЭП, уязвимостей систем ЭДО, эти требования были разделены на 4 группы:

- требования регуляторов по ЭДО (федеральный и региональный уровни);
- требования регуляторов по использованию ЭП;
- требования, выполнение которых обеспечит устранение уязвимостей и угроз, выявленных в процессе оценки конкретных технических и организационных систем используемых в органе государственной власти при организации ЭДО и использовании ЭП;
- требования по защите информации в ИС для государственных ИС

и информационных систем персональных данных (ИСПДн).

Наиболее важными требованиями из этих групп, являются следующие:

- для организации юридически значимого электронного документооборота, в системе ЭДО должна применяться квалифицированная электронная подпись, которая должна обеспечить возможность определить должностное лицо, подписавшее документ, контроль целостности электронного документа и отсутствие внесения изменений в него после подписания, организацию процедуры согласования проектов документов в электронном виде;

- порядок использования ЭП в ИС должно устанавливаться соглашением между участниками электронного взаимодействия [2];

- должен применяться квалифицированный сертификат ключа проверки ЭП, используемый для формирования ЭП, форма квалифицированного сертификата должна соответствовать приказу ФСБ России от 27 декабря 2011г. № 795;

- для организации защиты информации в качестве средств ЭП должны использоваться сертифицированные СКЗИ, обеспечивающие работу с ЭП в соответствии с п.17 Требований к организационно-техническому взаимодействию государственных органов посредством обмена документами в электронном виде (утв. приказом Минкомсвязи России и ФСО России от 27.05.2015 № 186/258);

- необходимо прописать в нормативных и методических документах все требования, предъявляемые к аккредитованным удостоверяющим центрам; участникам информационного взаимодействия; порядку формирования, проверки и хранения ЭП; программно-аппаратным средствам, используемым для хранения ключевой информации;

- должна быть обеспечена возможность проверки сертификатов и ЭП участников взаимодействия круглосуточно к универсальному сервису проверки головного удостоверяющего центра (обеспечивает Минкомсвязь).

Концептуальная модель, включающая группы требований и виды нормативных и методических документов, приведена на рис.1.

В качестве обязательных нормативных документов определены:

- Положение о применении электронной подписи в Единой системе электронного документооборота Алтайского края.

В качестве методических документов определены:

- Инструкция системных технологов САДД «Дело» по работе со средствами электронной подписи;

- Инструкция пользователей САДД «Дело» по работе со средствами электронной подписи.



Рис. 1. Концептуальная модель комплекса документов по ЭДО с ЭП

Также используется журнал учета сертификатов ключей проверки ЭП, иные документы системных технологов.

Структура положения должна включать:

1. общие положения;
2. условия признания электронных документов, подписанных электронной подписью, равнозначными документам на бумажном носителе, подписанным собственноручной подписью;
3. функции уполномоченного органа в области развития СЭД;
4. порядок действий при возникновении инцидентов информационной безопасности.

Структура инструкции системных технологов САДД «Дело» по работе со средствами электронной подписи должна включать:

1. порядок настройки СЭД для работы с ЭП;
2. порядок хранения сертификатов ключей проверки ЭП;
3. порядок настройки сервера удаленной проверки ЭП;
4. порядок действий при возникновении инцидентов информационной безопасности.

Структура инструкции пользователей САДД «Дело» по работе со средствами электронной подписи должна включать:

1. требования к работе с ключевыми носителями;
2. порядок применения ЭП в СЭД;
3. порядок действий при возникновении инцидентов информационной безопасности.

Разработанные нормативные и методические документы способны обеспечить функционирование ЭДО в правительстве Алтайского края с использованием ЭП.

**Литература. 1.** Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2014 г. № 1494 «Об утверждении Правил обмена документами в электронном виде при организации информационного взаимодействия» [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http:// www.garant.ru /products/ipo/ prime /doc/70732680/#ixzz4](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70732680/#ixzz4). **2.** Положение о Единой системе электронного документооборота Алтайского края: постановление Губернатора Алтайского края от 17.10.2014 г. № 483 с. 1-7. **3.** Постановление Правительства РФ от 9 февраля 2012 г. N 111 "Об электронной подписи, используемой органами исполнительной власти и органами местного самоуправления при организации электронного взаимодействия между собой, о порядке ее использования, а также об установлении требований к обеспечению совместимости средств электронной подписи". **4.** Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ (ред. от 28.06.2014) «Об электронной подписи». **5.** Загинайлов Ю.Н., Нордгеймер И.В. Проблема уязвимости системы электронного документооборота на основе САДД «Дело» при интеграции с ней ИС «Архивное дело» //научные исследования и разработки в эпоху глобализации: сборник статей Международной научно – практической конференции (25 ноября 2016 г., г. Пермь). В 7 ч. Ч.3/ – Пермь: АЭТЕРНА, 2016. – 239 с. 141-143.

**Реквизиты для справок:** *Россия, 656038, Барнаул пр-кт Ленина -46, Алтайский государственный технический университет имени И.И.Ползунова, Загинайлову Ю.Н. тел. (385-2) 29-07-18. E-mail: zun25@mail.ru*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНОГО КОМПРОМЕТИРОВАНИЯ**

РАДЧЕНКО А.Д., ШАРЛАЕВ Е.В.

В условиях стремительно расширяющегося рынка мобильных устройств проблема их защищенности стоит всё более остро. Особенно ввиду того, что ценность информации, хранящейся на сотовых телефонах зачастую превышает стоимость самих устройств.

Наиболее уязвимым мобильное устройство является в случае утери или кражи. Невозможность пользователя предотвратить доступ к данным прямым вмешательством развязывает руки нарушителю.

Целью исследования является выбор и обоснование концептуальной модели для реализации защиты информационного ресурса мобильного

устройства под управлением системы Android в случае его утери или кражи.

В данном случае, защищенность мобильного устройства будет определяться установленными программными средствами защиты и умением владельца устройства пользоваться ими. Также немаловажную роль играет и сам злоумышленник. Большинство краж имеют своей целью перепродажу или присвоение устройства, а не получение информации, хранящейся на нём. В таком случае, злоумышленник, как правило, сбрасывает устройство к заводским настройкам, стирая всю информацию предыдущего владельца, и защита информации, хранившейся на нём теряет актуальность. Приоритетом для пользователя в таком случае становится нахождение устройства или удаленное блокирование возможности его дальнейшего использования.

В противном случае, когда целью злоумышленника является получение информации, хранящейся на мобильном устройстве, порядок его действий, как правило, следующий:

- Отключение мобильного интернета или извлечение сим-карты, с целью предотвратить удаленное отслеживание/блокирование устройства.
- Попытка обойти экран блокировки (если он есть)
- Попытка получить доступ к приложениям и файлам устройства

В свою очередь, приложения и файлы также могут быть защищены. Однако современные мобильные устройства используются для десятков, а иногда и сотен приложений, каждое из которых обладает своими уязвимостями, а установка защиты на каждое из них делает эксплуатацию не очень комфортной, а потому не всегда целесообразна. Основным уровнем защиты устройства остается экран блокировки.

К сожалению, осведомленность пользователей в данном вопросе оставляет желать лучшего. Согласно данным компании Duo Labs, каждый третий владелец не пользуется блокировкой экрана.

Однако и её наличие не является гарантией защищенности устройства. Злоумышленники могут использовать ряд методов взлома пароля блокировки экрана:

- Снятие блокировки устройства с применением фотографии владельца особенно актуально в том случае, если злоумышленник знаком с жертвой.
- Снятие парольной защиты с использованием статистических особенностей их создания. Очень часто пользователи либо устанавливают пароли, связанные с собственными личными данными (такие как дата рождения, что опять же облегчает работу злоумышленнику, если он знаком с владельцем) либо используют типичные “слабые” пароли (графический пароль в форме римской цифры или буквы, цифровой пароль из идущих подряд цифр).

- Использование следов на экране для определения пароля. При постоянном вводе одного и того же ключа на экране остаются отчетливо видимые следы пальцев, позволяющие сократить диапазон поиска до 2-10 вариантов.

- Отключение блокировки экрана, используя подключение по USB и ADB. Данный метод позволяет с помощью нескольких простых команд сбросить пароль блокировки.

- Удаление файла с ключом блокировки при помощи консоли восстановления. Через консоль, используя специальный скрипт, возможно удалить файл `gesture.key` и снять блокировку.

- Манипуляция устройством на уровне загрузчика. Разблокированный загрузчик даёт возможность делать с устройством всё, что угодно, включая установку пользовательской консоли восстановления, с помощью которой можно разблокировать устройство.

- Использование индивидуальных уязвимостей устройств. Огромное количество различных моделей телефонов и большое количество прошивок ведет к множеству индивидуальных уязвимостей, свойственных лишь отдельным маркам устройств. Например, некоторые телефоны могут быть разблокированы входящим звонком или простой голосовой командой «Окей, Гугл».

Следует отметить, что данные методы имеют ряд недостатков. В частности, подключение по USB и ADB работает лишь на версиях Android 4.3 и ниже, а использование консоли восстановления и разблокирование загрузчика актуальны лишь для устройств без предустановленного режима шифрования. Тем не менее, с определенной долей вероятности они могут дать злоумышленнику доступ к данным устройства.

Для усиления защитных механизмов в случае утери или кражи мобильных устройств зачастую используются различные программы шифраторы сторонних разработчиков. Одним из предлагаемых решений является собственная разработка – программы шифратора “AesEncryptManager-R”.

Назначение данной программного средства – предварительное шифрование пользователем файлов при размещении их на устройстве или их размещение в защищаемом каталоге, содержимое которого будет автоматически зашифровано в случае неправильного ввода пароля блокировки экрана.

Актуальность данной разработки в том, что она совмещает в себе функции шифратора и лок-скрина. Данные, защищенные пользователем ранее или зашифрованные после неправильного ввода пароля блокировки экрана, останутся защищенными, даже если злоумышленник получит к ним доступ.



Первая составляющая предлагаемого программного средства – файловый менеджер с простым, интуитивно понятным интерфейсом, с функцией шифрования файлов. При шифровании файла используется метод шифрования AES. Данный алгоритм принят в качестве стандарта шифрования правительством США и считается достаточно надежным для защиты сведений, составляющих государственную тайну. Последовательность преобразования содержимого файла представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Последовательность преобразования содержимого файла

Второй составляющей программного средства является блокировка экрана с применением графического пароля. Графический интерфейс анализирует введенный пользователем ключ, и, в случае несоответствия заданному ранее паролю, определяет, является ли это ошибкой ввода или потенциальной попыткой взлома. Во втором случае программа шифрует ранее определенный защищаемый каталог. Алгоритм работы графического интерфейса блокировки представлен на рисунке 2.

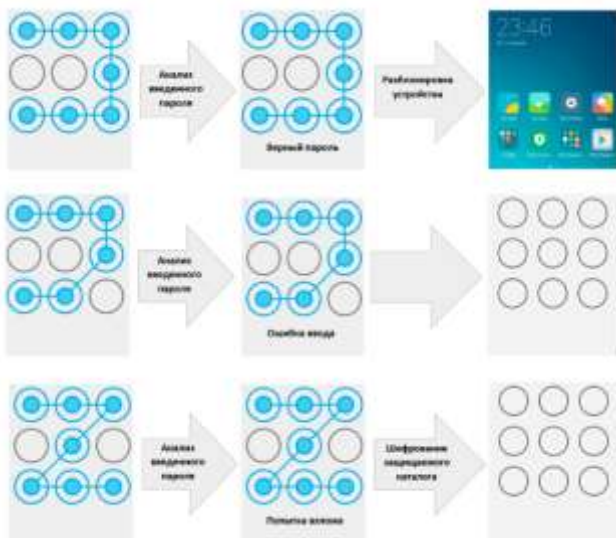


Рис. 2. Последовательность работы графического интерфейса блокировки

Таким образом, предлагаемое решение создает условия безопасного хранения информационного ресурса на мобильном устройстве в случае его утери или кражи при помощи шифрования файлов алгоритмом AES и экрана блокировки.

**Литература:** 1. Колисниченко Д. Н. Безопасный Android: защищаем свои деньги и данные от кражи. – СПб: БХВ-Петербург, 2015. – 161 с. 2. Михайлов Д. М., Жуков И. Ю., Ивашко А. М. Защита мобильных телефонов от атак М.: Фойлис, 2011. – 192 с. 3. Информационная безопасность на мобильных устройствах – взгляд потребителей. [Электронный ресурс] // Постоянный URL: <https://habrahabr.ru/company/gemaltorussia/blog/319366/>

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, кафедра ИВТиИБ, к.т.н., доцент **Шарлаев Е.В.** – [sharlaev@mail.ru](mailto:sharlaev@mail.ru), тел. 8 (3852) 29-07-18, **Радченко А.Д.** – [alexandrbarناول@mail.ru](mailto:alexandrbarناول@mail.ru).

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В КРИПТОАНАЛИЗЕ

ПЕТРОСЯН А.А., БОНДАРЕНКО В.В., БУРЛАКОВ М.Е.

В настоящее время существует большое количество криптографических алгоритмов (КА), обеспечивающих защиту всевозможных информационных систем. Каждый КА имеет свои не только сильные, но и слабые стороны, позволяющие злоумышленнику осуществить процесс криптоанализа с последующим раскрытием исходного шифртекста.

Существует множество техник, позволяющих проверить (протестировать) устойчивость КА к криптоанализу. К таковым можно отнести: дифференциальный анализ, линейный анализ и т.д. [1,2]. Зачастую, процесс криптоанализа требует больших затрат вычислительных ресурсов, что приводит к усложнению проверки стойкости КА к криптоанализу.

Одной из наиболее перспективных техник оптимизации криптоанализа является применение адаптивных алгоритмов – нейронных сетей, генетических алгоритмов, искусственных иммунных систем и т.д. [3].

**Целью работы** является исследование возможности применения генетических алгоритмов (ГА) для оптимизации процесса криптоанализа. Для этого предлагается рассмотреть оптимизацию криптоанализа шифра DES при помощи ГА.

**Шифр DES** – алгоритм блочного шифрования, в основе которого лежит сеть Фейстеля с 16-ю циклами. Размеры блока и ключа равны 64 бит. Алгоритм использует комбинацию нелинейных (S-блоки) и линейных (перестановки E, IP, IP<sup>-1</sup>) преобразований.

**Дифференциальный криптоанализ** представляет собой атаку на основе подобранных открытого текста, где подбираются пары открытых текстов с определенной XOR-разницей и анализируется вероятность появления различных пар шифр текстов (также по XOR-разнице). Эти вероятности могут быть использованы для того, чтобы найти вероятности возможных ключей и найти наиболее вероятные биты. Этот тип атаки основан на  $n$ -раундовых характеристиках, которые позволяют хранить информацию о промежуточных XOR-разницах после как можно большего количества раундов. Каждый раунд имеет определенную разницу открытых текстов  $\Omega P$ , определенную разницу промежуточных результатов на  $n$ -том раунде  $\Omega T$  и вероятность  $P$  того, что пара открытых текстов в результате шифрования имеет промежуточные различия, совпадающие с указанными в характеристике промежуточными результатами. Пара открытых текстов с XOR-разницей  $\Omega P$  и с XOR-разницей шифртекстов  $\Omega T$ , соответствующей характеристике, называется **правильной парой**. В противном случае пара называется неправильной парой [1].

Для того чтобы оценить вероятность успешного проведения дифференциального криптоанализа, вводится понятие отношения сигнал/шум.

**Отношением сигнал/шум** называется отношение вида [1]:

$$S/N = \frac{m \cdot P}{m \cdot \frac{\alpha \cdot \beta}{2^k}} = \frac{2^k \cdot P}{\alpha \cdot \beta} \quad (1)$$

где  $m$  – число используемых пар,  $P$  – вероятность характеристики,  $\alpha$  – среднее число предложенных ключей к каждой паре,  $\beta$  – число проанализированных пар среди всех пар,  $k$  – количество посчитанных бит ключа и  $2^k$  – количество возможных ключей.

Для успешного проведения дифференциального криптоанализа необходимо, чтобы значение соотношения (1) было  $\geq 1$ . При значениях соотношения (1)  $< 1$  возрастает количество необходимых пар для проведения криптоанализа.

Перед рассмотрением использования ГА в криптоанализе необходимо обозначить ряд понятий и определений.

**Генетический алгоритм** – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомого решения [4]. **Хромосома** в ГА – вектор значений, определяющих некоторое решение поставленной задачи [4]. **Приспособленность** – значение, определяющее, насколько хорошо закодированное в хромосоме решение справляется с поставленной задачей [4]. **Популяция** – конечное множество хромосом. Для создания новой популяции из текущей в ГА выделяют функции скрещивания и мутации.

Изначально генерируется первая популяция. Каждая хромосома популяции оценивается с помощью функции приспособленности. При помощи функций скрещивания и мутации образуется новая популяция решений. Хромосомы с наибольшим значением приспособленности имеют больший шанс участия в скрещивании. Для хромосом новой популяции также вычисляется значение приспособленности, и затем производится отбор лучших решений в следующее поколение [4].

Этот набор действий повторяется итеративно, пока не будет выполнен критерий остановки алгоритма [4]. Таким критерием может быть:

1. нахождение глобального, либо локального решения;
2. исчерпание числа поколений, отпущенных на эволюцию;
3. исчерпание времени, отпущенного на эволюцию и т.д.

В рамках криптоанализа шифра DES хромосома будет кодировать некоторый ключ. Соответственно, необходимо определить функцию приспособленности.

**Дифференциальный криптоанализ с применением ГА** в работах [5,6] предлагается реализовать с использованием следующей функции приспособленности, которая будет задействована в алгоритме поиска ключа шифрования:

$$C_r = \frac{n_{sr}}{n_p}, \quad (2)$$

где  $C_r$  – корректность хромосомы,  $n_{sr}$  – число правильных пар, сгенерированных хромосомой и  $n_p$  – общее число правильных пар. Значение  $C_r$  прямо пропорционально значению  $n_{sr}$ , так как  $n_p$  фиксировано.  $C_r < 1$ , за исключением случая, когда  $n_{sr} = n_p$ .

Для демонстрации техники применения ГА в дифференциальном анализе, работа алгоритма DES рассматривается в реализации с 6 раундами с использованием 3х-раундовых характеристик с  $\Omega P = 40800000\ 04000000x$  с конечной целью выделения не менее 30 бит ключа [4].

Рассмотрим хромосому длиной 30 бит, содержащую 5 под-ключей для S-блоков, каждый из которых состоит из 6 бит. Начальная и конечная перестановки будут опущены, так как они не имеют никакой криптографической значимости.

На рисунке 1 изображена 3-х-раундовая характеристика. Если добавить четвертый раунд, имеющий соотношение вида  $d' = b' \oplus C' = 40800000x$ , то результирующим значением в 5-ти S-блочной структуре (S2,S5...S8) по выполнению операции XOR получим нулевое значение. Шестой раунд рассчитывается из следующего соотношения  $F' = e' \oplus l' = c' \oplus D' \oplus l'$ , где  $l'$  – левая половина  $\Omega P$ . Ожидаемая вероятность характеристики по результатам работы 3 раундов равна 1/16 [1].

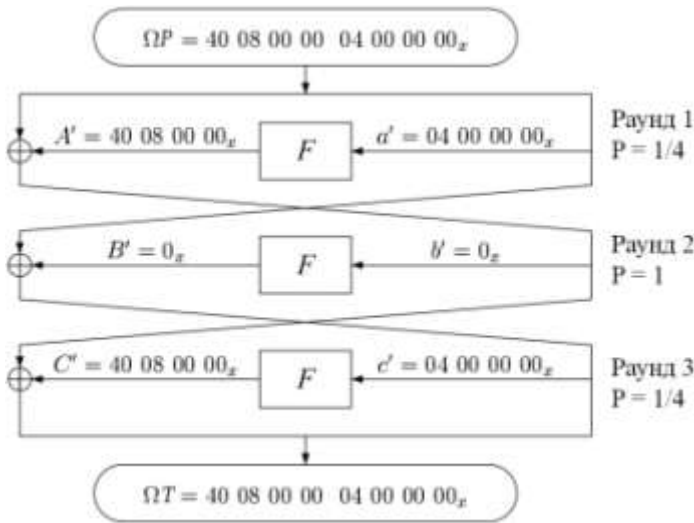


Рис. 1. 3-х-раундовая характеристика

### Алгоритм применения ГА в дифференциальном анализе:

Изначально генерируется 100 правильных пар с фиксированной разницей  $\Omega P = 40800000\ 04000000_x$  с последующим их шифрованием. С помощью ГА и функции приспособленности (2) находится наилучшая хромосома, кодирующая 5 под-ключей 6-ти S-блоков (S2, S5 ... S8). Полученная хромосома, имеющая наивысшее значение приспособленности, содержит в себе 30 бит ключа. Успешность выполнения алгоритма проверяется при попытке расшифровать шифртекст. Полученные 30 бит ключа размещаются в нужные позиции и грубым перебором вычисляются остальные 26 бит.

**Реализация.** Дифференциальный криптоанализ с применением ГА был реализован с использованием языка программирования Java, а также открытой библиотеки The Watchmaker Framework.

Программная реализация описанного в данной работе алгоритма позволяет взломать 6-ти раундовую версию DES и извлечь под-ключи S-блоков S2, S5, S6, S7 и S8, имея 100 правильных пар с XOR-разницей  $\Omega P = 40800000\ 04000000_x$ .

В дальнейшем рассматриваются следующие пути улучшения качества работы алгоритма:

1. использование линейного криптоанализа с применением ГА для первоначального определения под-ключа одного S-блока;
2. определение влияния S-блоков на значение вектора хромосомы;

Так как ГА удалось применить в криптоанализе DES, то целесообразно рассмотреть и применение ГА в криптоанализе других DES-подобных КА и хеш-функций.

**Литература.** 1. Biham E. Differential Cryptanalysis of DES-like Cryptosystems / Eli Biham, Adi Shamir // The Weizmann Institute of Science Department of Applied Mathematics, 1990. – P. 8-38. 2. Matsui M. Linear Cryptanalysis Method for DES Cipher // Advances in Cryptology-EUROCRYPT'93, 1994. – P. 386-397. 3. Бурлаков М.Е. О некоторых моделях оптимизации искусственной нейронной сети генетическими алгоритмами // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2014): труды Международной научно-технической конференции. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2014. – С. 99-105. 4. Генетический алгоритм [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>. 5. Bahaa-Eldin A.M. Intelligent Systems for Information Security // Ph.D. Thesis, Ain Shams University, 2004. – P. 82. 6. Hassan M.H. A Genetic Algorithm for Cryptanalysis with Application to DES-like Systems // International Journal of Network Security, Vol.8, 2009. – P. 177-186.

**Реквизиты для справок:** Россия, 443086, Самара, ул. Московское шоссе 34, Самарский национальный исследовательский университет, ст. преподавателю кафедры БИС, Бурлакову М.Е., тел. (846) 267-48-67. E-mail: [burlakov@ssau.ru](mailto:burlakov@ssau.ru)

## **ОЦЕНКА АРХИВА ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ОРГАНЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ КАК ОБЪЕКТА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

ЗАГИНАЙЛОВ Ю.Н., РОМАН Е.В., САННИКОВ А.В.

В современной организации системы электронного документооборота (СЭД) становятся обязательным элементом ИТ-инфраструктуры. С их помощью повышают эффективность деятельности коммерческие компании и промышленные предприятия, а в государственных учреждениях на базе технологий электронного документооборота решаются задачи внутреннего управления, межведомственного взаимодействия и взаимодействия с населением [1].

Единая система электронного документооборота (ЕСЭД) Алтайского края в соответствии с положением о ней является элементом инфраструктуры электронного правительства и предназначена для организации работы с документами в органах исполнительной власти края и межведомственного электронного взаимодействия [2].

Однако при осуществлении юридически значимого электронного документооборота возникает много сложностей. Прежде всего, как пе-

редавать электронный документ на хранение? Что это будет за архив? Как будет регламентироваться его деятельность? Как обеспечить защиту информации электронного архива? С учётом того, что эти вопросы ещё не решены, вопросы организации защиты информационного процесса архивов электронных документов являются актуальными.

Для организации защиты электронного архива необходимо определить элементы объекта защиты информации и исследовать функциональный процесс архива с целью определения конкретных мер их защиты. Элементами, подлежащими оценке, с учётом [3], следует считать:

- элементы технической системы (аппаратная платформа);
- программное обеспечение (системное и прикладное);
- сети связи и телекоммуникаций;
- защищаемые информационные ресурсы (информация);
- защищаемый информационный процесс (функциональный процесс работы электронного архива);
- уязвимости элементов объекта защиты информации в отдельности и целом.

ЕСЭД представляет собой центральный узел (сервер), включающий: базу данных (БД), СУБД MSSQL, сервер приложений, то есть непосредственно серверная часть программы (ССАД) «Дело» и «Архивное дело», различные приложения-процессы для автоматизации некоторых операций, а также интеграции с другими информационными системами. Участниками системы электронного архива в рамках его функционального процесса являются: системный технолог, администратор БД, участники электронного документооборота.

Для участников системы электронного архива регистрируются документы: исходящие – исходящая переписка с участниками ЕСЭД и иными организациями, не входящими в ЕСЭД; входящие – входящие документы от участников ЕСЭД и иных организаций; внутренние.

Переписка между участниками осуществляется через сервер. При этом действует принцип однократной регистрации: поступивший документ повторной регистрации не подлежит.

Через сервер участники ЕСЭД направляют документы в федеральную систему межведомственного электронного документооборота (МЭДО), которая предназначена для обмена документами в электронном виде между федеральными органами власти, органами власти субъектов РФ, а также государственными корпорациями. Также через сервер осуществляется прием корреспонденции МЭДО.

К данным системы можно обращаться путем использования WEB-соединения. Таким образом, сфера применения этой опции выходит за рамки внутрикорпоративного решения и позволяет получать доступ к данным системы «Архивное дело» пользователям глобальной сети Ин-

тернет. Для подключения удалённых пользователей через WEB-среду в режиме строгой аутентификации предлагается использовать механизм двусторонней SSL-аутентификации клиента и сервера IIS.[5]

На рис. 1 представлена модель информационных потоков системы ЭДО и системы электронного архива.

Защищаемой информацией (информационными ресурсами) в системе «Архивное дело» является информация для служебного пользования (ДСП) и персональные данные (ПДн). В качестве средства ограничения доступа для работы с этой информацией используется электронный замок «Соболь».



Рис.1. Модель информационных потоков

В качестве криптографической меры защиты выступает электронная подпись, с помощью которой обеспечивается целостность электронных данных, подтверждается их авторство и актуальность. Для организации юридически значимого электронного документооборота в ЕСЭД, а, следовательно, в системе «Архивное дело» применяется усиленная квалифицированная электронная подпись. [4].

Таким образом, можно выделить следующие объекты защиты системы электронного архива «Архивное дело»: внутренние ресурсы системы, сервер и корпоративная сеть передачи данных. Их защита обеспечивается в органе государственной власти специальным отделом, сертифицированными техническими средствами защиты, в рамках системы защиты ИС и ИТКС на уровне, соответствующем требованиям к защите государственных информационных систем и ИС ПДн. В связи с этим самостоятельные технические каналы утечки информации ограниченного доступа в ходе оценки не выявлены.



Среди уязвимостей были выявлены организационные уязвимости. По типам недостатков ИС такими уязвимостями являются:

- уязвимости (недостатки), приводящие к утечке/раскрытию информации ограниченного доступа;
- уязвимости (недостатки), связанные с управлением полномочиями (учетными данными);
- уязвимости (недостатки), связанные с управлением разрешениями, привилегиями и доступом;
- уязвимости (недостатки), связанные с аутентификацией.

Таким образом, применительно к архиву электронных документов в ЕСЭД Алтайского края актуальными будут угрозы безопасности информации, обусловленные приведенными уязвимостями. Устранение этих уязвимостей возможно средствами организационно-правового и методического обеспечения защиты информации путём разработки и внедрения нормативно-методических документов, регламентирующих управление доступом, привилегии различных категорий участников функционального процесса и другие функции связанные с обеспечением электронного архива.

**Литература. 1.** Юзаева А.Г., Савченко Л.М., Тихоненко Д.В. Системы электронного документооборота [<http://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-elektronnogo-dokumentoooborota>] / Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Журнал, 2014, 1, 400-401. **2.** Положение о Единой системе электронного документооборота Алтайского края: постановление Губернатора Алтайского края от 17.10.2014 г. №483 с. 1-7. **3.** Загинайлов Ю.Н., Роман Е.В. Организация защиты информации в архиве электронного документооборота // Новые информационные технологии в науке нового времени: сборник статей Международной научно – практической конференции (5 октября 2016 г., г. Волгоград). – Уфа: АЭТЕРНА, 2016. -310с., с.40-42. **4.** Система автоматизации делопроизводства и документооборота «ДЕЛО» [<http://www.eos.ru>] – Москва: ООО «ЭОС Софт», 2015. – Прил.: Защищенный документооборот (36 с.). **5.** Система автоматизации архивного дела «АРХИВНОЕ ДЕЛО» [<http://www.eos.ru>] – Москва: ООО «ЭОС Софт», 2015. – Прил.: Руководство технолога (116 с.).

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул пр-кт Ленина -46, Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, Загинайлову Ю.Н. тел. (385-2) 29-07-18. E-mail: zun25@mail.ru

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ DDOS АТАК НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

**ФЕЩЕНКО Д.Н., ШАРЛАЕВ Е.В.**

Развитие сетевых технологий влечёт за собой появление новых сетевых угроз. В настоящее время одним из основных инструментов киберпреступников, используемого как для шантажа, так и для нанесения ма-

териального ущерба организации, являются DDoS атаки, осуществляемые с нескольких машин на вычислительную систему с целью доведения ее до отказа [1]. При этом часто оказывается, что владельцы ресурсов, с которых осуществляются такие атаки, даже не подозревают о том, что их компьютеры являются частью так называемого «ботнета». В таком случае при противодействии DDoS атакам актуальным становится применение средств обнаружения вторжений (IDS). Данные системы позволяют обнаруживать атаки на начальном этапе и принимать меры по снижению ущерба от DDoS атак. Как правило, классические методы анализа статистических данных не позволяют определять атаки «нулевого дня», поэтому в качестве возможного механизма решения данной проблемы все чаще стали прибегать к использованию нейросетевых технологий [2].

**Целью работы** является разработка приложения для обнаружения DDoS атак на основе нейронной сети.

Для реализации данного приложения был выбран язык программирования C# и среда программирования Visual Studio 2016.

Приложение состоит из 3 модулей (рис. 1): модуль приема пакетов; модуль обработки пакетов; модуль принятия решений.

Модуль приема пакетов представляет собой сетевой анализатор трафика, который отбирает из всех пакетов, поступающих на сетевую карту, TCP пакеты и передает их в модуль обработки пакетов.

Модуль обработки пакетов анализирует параметры пакета необходимые для обнаружения атаки: адрес отправителя (source ip address), порт получателя (destination port address) и установлен ли syn флаг пакета [2], а также замеряет время поступления 20 пакетов и передает полученные данные на вход нейронной сети.

Нейронная сеть состоит из 3 слоев. Входной слой состоит из 4 нейронов, скрытый слой – из 16, а выходной слой состоит из одного нейрона, значение которого является ответом нейронной сети.

Обучение сети производится с помощью метода обратного распространения ошибки [3].

Модуль принятия решений, в зависимости от ответа нейронной сети, выбирает необходимые меры.

Графическая часть приложения включает в себя 6 форм (рис. 2). При запуске приложения отображается главное окно. Окно выбора мер появляется при обнаружении атаки, если в настройках не задано поведение системы при атаке. Доступ к остальным окнам приложения осуществляется из главного окна путем выбора соответствующих пунктов меню.

Во время работы, приложение взаимодействует с текстовыми и исполняемыми файлами для обеспечения реализуемого функционала (рис. 3).

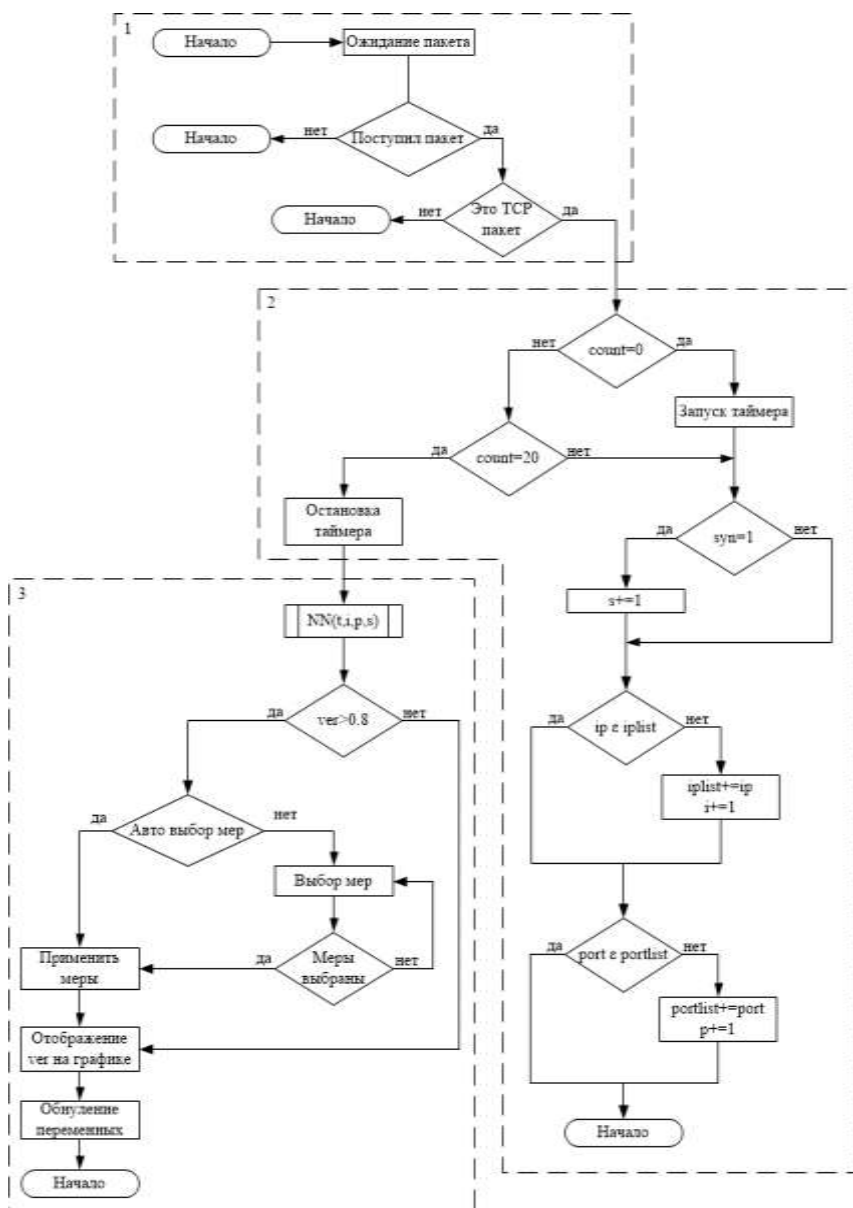


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы приложения



Рис. 2. Структура окон приложения

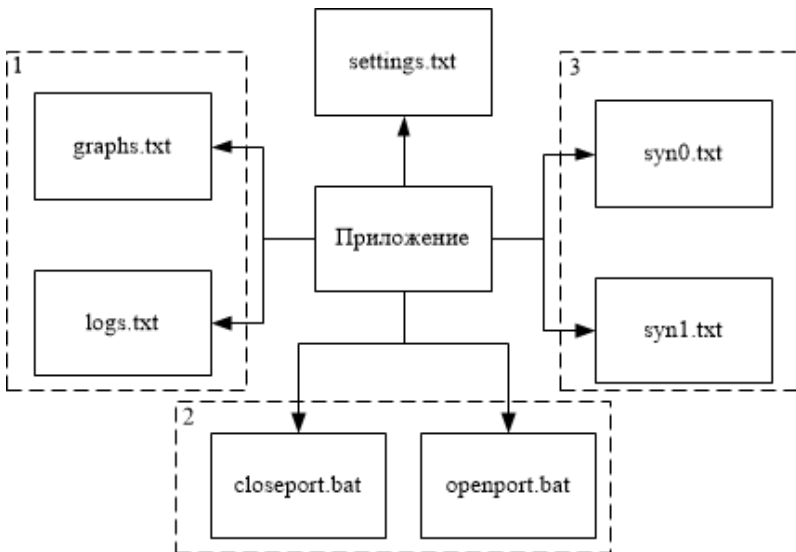


Рис. 3. Используемые файлы

Текстовые файлы 1 группы являются журналами событий, в которых ведется запись результатов работы приложения, эти же файлы используются для отображения результатов работы (лог файлы) приложения за все время в текстовом и графическом виде.

Исполняемые файлы 2 группы используются для применения выбранных мер безопасности при атаке.

В текстовых файлах 3 группы сохраняются веса обученной нейронной сети, для исключения повторного обучения сети при каждом запуске приложения.

При запуске, приложение загружает настройки из файла settings.txt. Интерфейс разработанной системы обнаружения распределенных DDoS атак представлен на рис. 4.



Рис. 4. Интерфейс разработанного приложения

Эффективность внедрения такого приложения состоит в том, что стоимость разработки данного ПО значительно ниже стоимости аналогичных приложений. Достоинство данного приложения заключается в том, что оно может использоваться как модуль и интегрировано в различные приложения прикладного уровня с целью их защиты от DDoS атак.

**Выводы.** Таким образом, в ходе проведения исследований был предложен алгоритм и разработано приложение на основе нейронной сети, которое позволяет обнаруживать распределенные DDoS атаки.

**Литература.** **1.** Douligieris, C. DDoS Attacks and Defense Mechanisms: Classification and State-of-the-art Text. / C. Douligieris, A. Mitrokotsa // Comp. Networks. 2004. **2.** Alan Saied, Richard E Overill, Tomasz Radzik «Artificial Neural Networks in the detection of known and unknown DDoS attacks: Proof-of-Concept». **3.** Sathyanarayana, S. A Gentle Introduction to Backpropagation. 2014.

**Реквизиты для справок:** Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, кафедра ИВТиИБ, к.т.н., доцент **Шарлаев Е.В.** – [sharlaev@mail.ru](mailto:sharlaev@mail.ru), тел. 8 (3852) 29-07-18, студент **Фещенко Д.Н.** – [feshchenko.dn@gmail.com](mailto:feshchenko.dn@gmail.com).

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПО ПАРЕТО

БУДОВСКИХ И.А., ЗАГИНАЙЛОВ Ю.Н.

Для предотвращения угроз безопасности персональных данных (ПДн) в информационных системах, в России, как и в других странах, разработана и внедрена технология обеспечения безопасности этих данных, включающая кортеж компонентов (документов-регуляторов): Федеральный закон (ФЗ-152), Постановление Правительства (ПП-1119 2012г.), Приказ ФСТЭК России № 21 (Состав и содержания организационных и технических мер 2013г.), специально разработанные технические и криптографические средства защиты. Технология, по сути, включает требования к защищённости ИС сгруппированные по четырём уровням защищённости (УЗ), в основу которых положено наличие механизмов противодействия актуальным угрозам различных типов. Методика определения и оценки угроз безопасности, разработанная ФСТЭК России для ИСПДн основана в основном на элементах теории нечётких множеств и неформальных методах оценивания, что существенно затрудняет использование её для построения формальных моделей безопасности ИСПДн с целью исследований эффективности различных средств и систем защиты, прогнозирования их развития, выявления тенденций в этих вопросах, и, по мнению авторов, обеспечивает «требуемый» уровень защиты, но не «адекватный», что ставит вопрос разработки количественных методов оценки защищённости ПДн в ряд актуальных.

Оценка применимости для указанных целей других методик [1-3], показала невозможность их применения в том виде, в котором они существуют в настоящее время. Предложенная авторами частная методика количественной оценки защищённости ИСПДн основана на двухкритериальной оптимизации по Парето вероятности реализации актуальных угроз безопасности (первый критерий оценки), и на количественной оценке защищённости ПДн на основе тестирования специалистов (второй критерий оценки).

При этом вероятность защищённости ИСПДн, определяется по традиционной математической зависимости, представленной в вероятностной модели системы защиты информации [4].

Для того, чтобы получить оценку защищённости ИСПДн используя двухкритериальную оптимизацию по Парето, необходимо найти такие оптимальные значения критериев, при которых нельзя дальше улучшать

значение первого критерия, не ухудшая при этом значение второго критерия.

В качестве первого критерия оптимизации по Парето выступает количественная оценка защищенности ПДн в ИС на основе анализа угроз ( $Y_1$ ). Множество значений первого критерия формируются из вероятностей реализации угроз безопасности, которые описываются формулой (1):

$$Y_{1i} = \frac{P_{стi} + \frac{\sum_{j=0}^n k_i * P_{эксj}}{n} + Y}{3}, \quad (1)$$

где  $P_{стi}$  – вероятность реализации  $i$ -ой угрозы безопасности ПДн, которая определяется на основе статистики реализации  $i$ -ой угрозы безопасности ПДн в ИС в диапазоне от 0 до 100%.

$P_{эксj}$  – оценка вероятности реализации  $i$ -ой угрозы безопасности ПДн  $j$ -ым экспертом в диапазоне от 0 до 100%.

$n$  – количество экспертов, реализующих оценку угроз безопасности ПДн.

$k$  – коэффициент квалификации специалиста.

$Y$  – показатель исходной защищенности ИСПДн, который зависит от перечня технических и эксплуатационных характеристик ИСПДн в диапазоне от 0 до 100%.

В качестве второго критерия оптимизации по Парето выступает количественная оценка защищенности ПДн в ИС на основе тестирования специалистов ( $Y_2$  – процент ошибок). Множество значений второго критерия формируются в результате тестирования специалистов, которые описываются формулами (2 и 3):

$$Y_{2i} = 100 - Y_{итi}, \quad (2)$$

где  $Y_{итi}$  – процент выполнения теста специалистом из области ИТ и ИБ.

$$Y_{2i} = 100 - Y_{рсi}, \quad (3)$$

где  $Y_{рсi}$  – процент выполнения теста специалистом, занимающимся обработкой ПДн.

Из значений  $Y_{1i}$  и  $Y_{2i}$  формируется множество возможных решений  $X(Y_{1i}$  и  $Y_{2i})$ . Сформированное множество образует критериальное пространство, пример на рисунке 1.

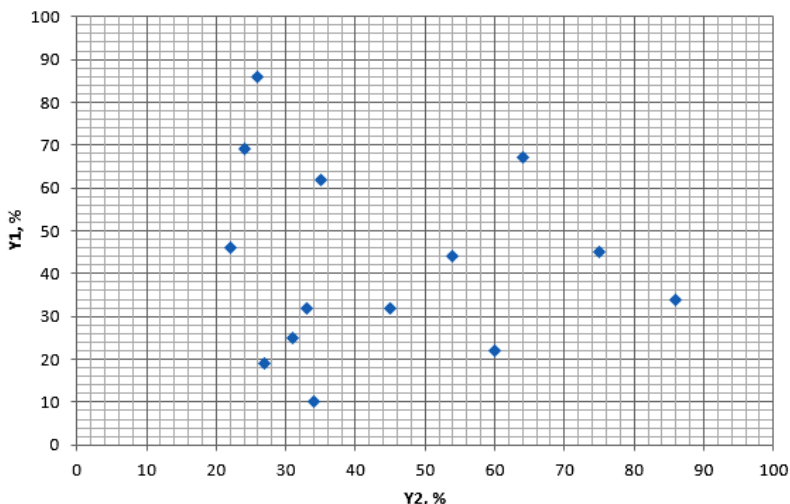


Рис. 1. Критериальное пространство

Выделение эффективного (оптимального) решения посредством метода оптимизации по Парето заключается в последовательном сравнении соседних элементов множества  $X$  (значений их критериев). Решением будет та точка из множества  $X$ , в которой нельзя дальше улучшить (максимизировать) значение первого критерия, не ухудшая при этом значение второго критерия. Меняя технические и криптографические средства защиты, средства физической защиты и организационные мероприятия, которые через вероятность реализации угрозы будут влиять на общую защищённость, при этом их эффективность дополнительно будет оцениваться и учитываться квалифицированными экспертами, можно выбирать те или иные средства и организационные мероприятия по защите ИСПДн.

**Литература. 1.** ИТ-Портал компании «Инфосистемы Джет» [Электронный ресурс]: Защита персональных данных; Jet Info, 2009. – Режим доступа: <http://www.jetinfo.ru/stati/zaschita-personalnykh>. – Загл. с экрана. **2.** Будовских И.А., Алферова Л.Д. Формирование алгоритма расчета уровня соответствия информационной безопасности кредитных организаций стандарту Банка России // Материалы 12-ой Всероссийской научно-технической конференции «Наука и молодежь – 2015». – г. Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2015г. Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/information\\_safety\\_tez\\_2015.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/information_safety_tez_2015.pdf). **3.** Будовских И.А., Загинайлов Ю.Н. «Оценка применимости для аудита безопасности государственных ИС методики определения угроз безопасности информации, разработанной ФСТЭК



России» // Материалы XVII международной научно-технической конференции «Измерение, контроль, информатизация». – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016 г. Режим доступа: <http://elib2.altstu.ru/disser/conferenc/2016/19-05.pdf>. 4. Загинайлов, Ю.Н. Теория информационной безопасности и методология защиты информации: учебное пособие / Ю.Н. Загинайлов. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 253 с.: ил. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-3946-7; То же [Электронный ресурс]. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=276557>.

*Реквизиты для справок.* Барнаул, Алтайский государственный технический университет, кафедра Информатики, вычислительной техники и информационной безопасности, к.в.н., доцент **Загинайлов Ю.Н.** – [zun25@mail.ru](mailto:zun25@mail.ru), студент Будовских И.А., тел. (3852) 29-07-18.

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ И ИНТЕРФЕЙСА СРЕДСТВА БЛОКИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

ДЕМЕНКО А.М., ШАРЛАЕВ Е.В.

Обеспечение безопасности информационных ресурсов различных систем является одной из актуальнейших и в то же время наиболее сложных задач нашего времени.

В условиях конкурентной борьбы, становится актуальна угроза промышленного шпионажа. В связи с чем, на многих современных производствах, вводится режим коммерческой тайны для защиты секретов производства, в ходе которого, в ряде случаев, вводится особый пропускной режим, включающий сдачу мобильных устройств работниками на все время пребывания на производстве. В целях исключения процедуры сдачи устройств предлагается разработка приложения, отключающее определенные функции устройств, такие как: диктофон, камера, радиомодем и т.д. при его нахождении внутри контролируемой зоны (далее КЗ), где под КЗ понимается полигон – часть плоскости, лежащая внутри замкнутой ломанной кривой с  $n$  количеством вершин, при этом  $n > 3$ , при этом для каждой вершины определены географические координаты [3].

**Целью работы** является разработка концептуальной модели средства блокирования технических каналов утечки информации мобильных устройств.

Для разработки приложения выбран язык программирования Java и среда программирования AndroidStudio 2.3.1. API было выбрано версии 19, т.к. оно поддерживается на наибольшем проценте устройств с ОС Android.

Для наиболее удобного использования, данное средство представляет собой два приложения [2], устанавливаемые на смартфоны под управле-

нием ОС Android, которые предоставляют ряд функций (рис.1). Ключевым элементом, с которым необходимо взаимодействовать при работе с данными приложениями является позиционирование относительно КЗ. Для каждой КЗ необходимо определить и хранить ее имя, координаты вершин периметра и набор правил.

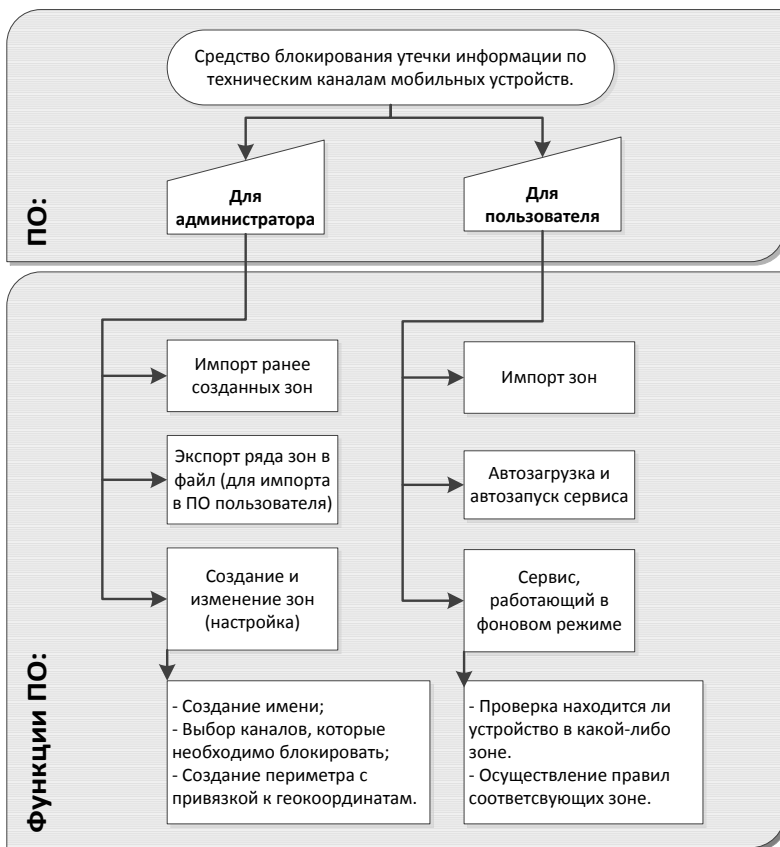


Рис. 1. Блок-схема функциональных возможностей ПО

Под набором правил понимается список тех служб, которые необходимо блокировать на устройстве, при нахождении его внутри КЗ. Для удобства оперирования этими данными создан класс «zone», в котором хранятся все эти данные (рис.2). При этом массив с координатами является динамическим, а массив с правилами фиксированной длины.

Для реализации заявленных функций, используется приложение администратора [2] реализованного в виде графического интерфейса включающего в себя 4 панели управления (рис.3):

- Окно создания и изменения контролируемых зон;
- Окно редактирования периметра контролируемой зоны;
- Окно экспорта зон в файл;
- Окно «О приложении».



Рис. 2. Структура класса «zone»

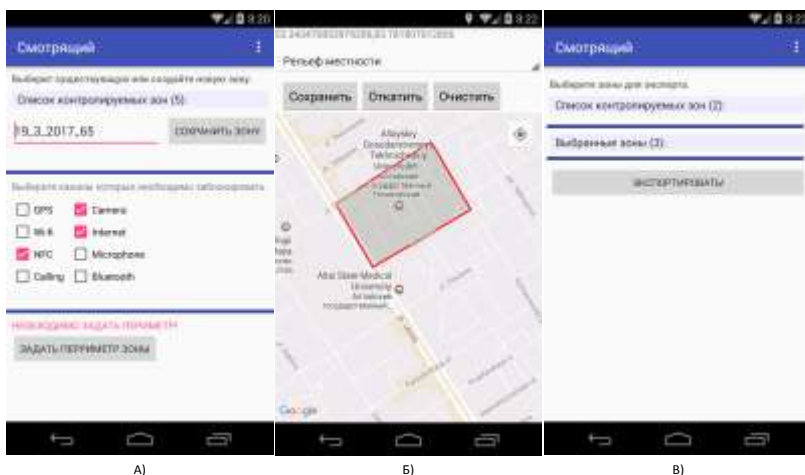


Рис. 3. Интерфейс разработанного приложения

- А) окно создания и изменения контролируемых зон. Б) Окно редактирования периметра контролируемой зоны. В) Окно экспорта зон в файл

При запуске приложения отображается окно создания и изменения контролируемых зон, которое является главным (рис.3 А). В нем пользователь имеет возможность создать новую, задав её имя, разрешения и, нажав на кнопку, перейдет в окно редактирования периметра (рис.3 Б), где задаст периметр зоны с привязкой к географическим координатам. После задания периметра, пользователь получает возможность сохранить КЗ. Также в данном окне реализован выбор уже существующих зон, их изменение и удаление.

Окно редактирования периметра контролируемой зон представляет собой карту, реализованную с помощью GoogleMapsAPI, ряда кнопок и выпадающего списка выбора режимов отображения карты. Режимы являются стандартными для GoogleMaps: обычный, снимок со спутника, рельеф местности и гибридный режим. Кнопка «Сохранить» сохраняет заданный периметр в КЗ, указанный в соответствующем окне создания и изменения контролируемых зон. Кнопка откатить отменяет последнюю установленную точку, а «Очистить» полностью очищает карту. Задание вершин периметра полигона производится длительным нажатием на элемент управления в соответствующих точках карты.

Доступ к остальным окнам приложения осуществляется из главного окна путем выбора соответствующих пунктов меню.

В окне экспорта зон в файл (рис.3 В) пользователь выбирает список зон, которые необходимо экспортировать в файл, для дальнейшего импорта в ПО для пользователей.

В окне «О приложении» в текстовом виде представлена информация о приложении, разработчике и порядке использования ПО.

Для реализации заявленных функций приложения для пользователя, был реализован сервис, постоянно работающий в фоновом режиме, и окно импорта списка зон из файла. Файл предварительно будет экспортирован из приложения для администратора. Для реализации режима блокирования технических каналов утечки информации, на мобильном устройстве предлагается алгоритм функционирования приложения (рис.4.).

Под «дежурным режимом» понимается режим работы приложения, в котором сервис непрерывно получает данные о местоположении устройства и проверяет, находится ли оно относительно какой-либо из КЗ.

Для определения местоположения устройства относительно какой-либо из КЗ осуществлен переход к декартовым координатам из географических [3], а для определения вхождения точки в некоторый полигон используется метод трассировки луча [1].

Если обнаруживается, что устройство находится на территории КЗ, то сразу же активируется «безопасный режим».

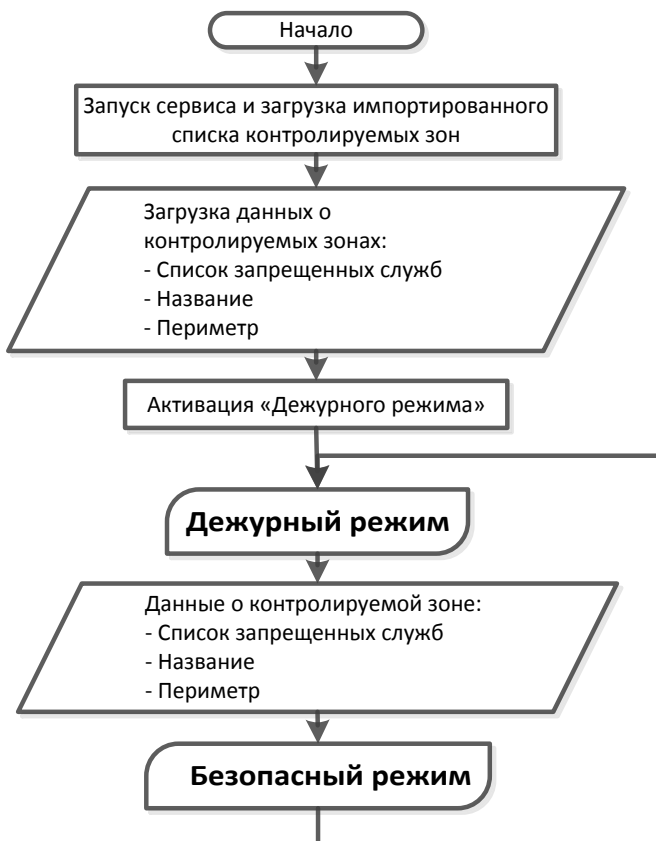


Рис. 4. Блок-схема работы приложения для пользователя

Также в данном режиме приложение поддерживает GPS в активном состоянии и проверяет, используется ли средства фиктивного местоположения (далее СФМ), если таковое средство обнаружено, то оно отключается. Алгоритм работы приложения в режиме представлен далее (рис. 5).

Под «безопасным режимом» понимается режим работы приложения, в котором приложение отключает различные службы (GPS, NFC, Wi-Fi и т.д.), указанные при создании контролируемой зоны. И непрерывно ведет мониторинг работающих служб, при обнаружении факта активации запрещенной, приложение ее. Также сервис непрерывно получает данные о местоположении устройства и проверяет вышло ли оно из КЗ. Также в данном режиме приложение поддерживает GPS в активном состоянии и

проверяется используется ли СФМ, если таковое средство обнаружено, то оно отключается.

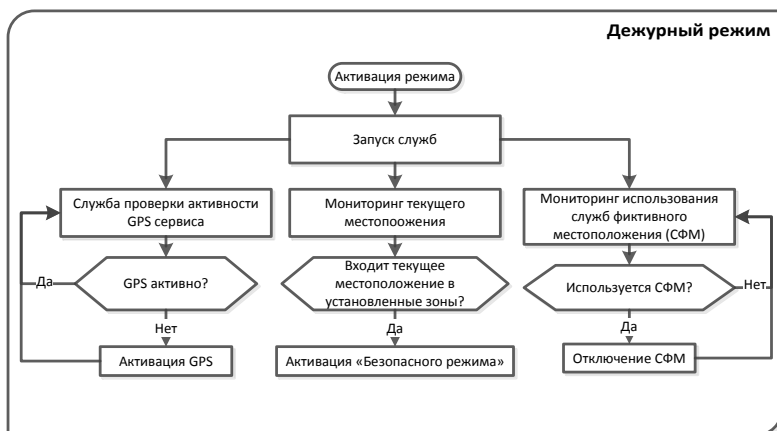


Рис. 5. Блок-схема алгоритма работы «дежурного режима»

Алгоритм работы приложения в этом режиме представлен на рис. 6.

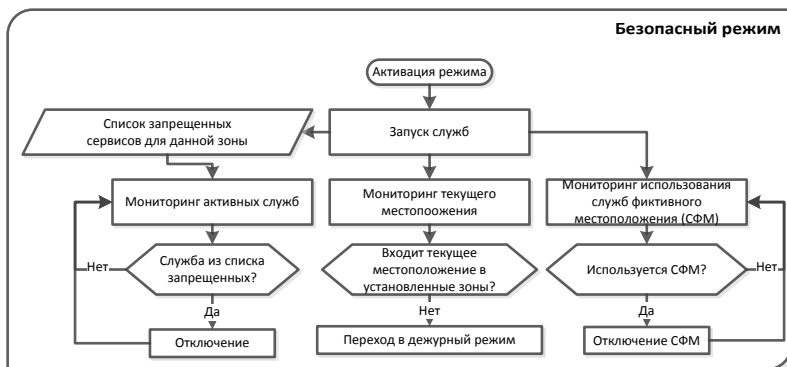


Рис. 6. Блок-схема алгоритма работы «безопасного режима»

**Выводы.** В данной работе представлена концептуальная модель средства блокирования технических каналов утечки информации мобильных устройств и описана разработанная программа в которой реализованы представленные функции. Интерфейс был спроектирован в соответствии с требованиями необходимыми для интуитивного понимания и использования всех функций со стороны пользователя [2].

**Литература:** 1. Ласло М.М. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++ : Пер. с англ.-М.: БИНОМ, 1997.– 301 с. 2. Купер А. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия / А. Купер, Р. Рейман, Д. Кронин. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2009. – 686. 3. Деменко, А.М. Выбор алгоритма определения вхождения точки в заданный контур с привязкой к географическим координатам./ А.М. Деменко, Е.В. Шарлаев // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 154-156

**Реквизиты для справок:***Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, кафедра ИВТиИБ, к.т.н., доцент Шарлаев Е.В. – sharlaev@mail.ru, тел. 8 (3852) 29-07-18, Деменко А.М. – sshdemenk@rambler.ru.*

## СПИСОК АВТОРОВ

- Абдулхакимов У.И.** – соискатель ДГТУ  
**Акулова О.Б.** – к.т.н., научный сотрудник ИВЭП СО РАН  
**Алексеев А.В.** – АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Антипова Л.А.** – студент, АлтГТУ им. Ползунова  
**Астахова А.В.** – к.э.н., доцент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Афонин В.С.** – доцент, к.т.н, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Баландович Б.А.** – директор института, д.м.н., профессор, ИГТ и ПЭ  
ФГБОУ ВО АГМУ Минздрава России  
**Барсуков Р.В.** – технический директор, к.т.н., МИП ООО «ЦУТ АлтГТУ»  
**Бессонов А.С.** – доцент, к.т.н., МИРЭА  
**Бондаренко В.В.** – старший преподаватель СНИУ им. Академ. С.П. Королева  
**Борисов А.П.** – доцент, к.т.н., доцент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Будовских И.А.** – магистрант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Букатый В.И.** – д. ф.– м. н., профессор, ИВЭП СО РАН  
**Бурлаков М.Е.** – старший преподаватель СНИУ им. Академ. С.П. Королева  
**Вавилова Г.В.** – к.т.н., старший преподаватель, ИНК НИ ТПУ  
**Винник О.Ю.** – магистрант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Воробьев Д.С.** – магистрант АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Габитов И.А.** – старший преподаватель ДГТУ  
**Ганжа А.В.** – учащийся МБОУ «Средняя школа № 82»  
**Ганжа В.А.** – к.т.н., доцент, СФУ  
**Гольдштейн А.Е.** – д.т.н., профессор кафедры ФМПК, НИТПУ  
**Гопанков Д.Н.** – студент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Гопаченко Ю.О.** – студент, магистрант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Гребеньков А.А.** – доцент, к.ф.-м.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Деменко А.М.** – студент, АлтГТУ им. И.И.Ползунова  
**Дмитриев С.Ф.** – доцент, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Дробот П.Н.**– доцент, к.ф.-м.н., доцент, ТУСУР  
**Евдулов Д.В.** – к.т.н, старший преподаватель ДГТУ  
**Евдулов О.В.** – доцент, к.т.н., ДГТУ  
**Еремин В.Б.** – студент, АлтГТУ им. Ползунова  
**Ермаков А.В.** – магистрант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Ермолин К.С.** – м.н.с., ИМ УрО РАН  
**Жданов И.А.** – студент АлтГТУ  
**Жирнов М.А.** – программист НИУ «МЭИ»  
**Загинайлов Ю.Н.** – доцент, к.в.н., профессор АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Зрюмов Е.А.** – к.т.н., доцент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Зрюмов П.А.** – к.т.н., доцент АлтГТУ им. И.И. Ползунова



**Зрюмова А.Г.** – д.т.н., доцент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Ивченко С.П.** – магистрант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Ильченко Е.В.** – инженер, МИП ООО «ЦУТ АлтГТУ»  
**Исмаилов Т.А.** – ректор, д.т.н., профессор, ДГТУ  
**Истомин К.А.** – студент, магистрант, НИ ТПУ ИНК ФМПК  
**Ишков А.В.** – д.т.н, профессор АГАУ  
**Кадилова Д.К.** – аспирант ДГТУ  
**Казумов Р.Ш.** – доцент, к.т.н., ДГТУ  
**Калиниченко А.Н.** – к.т.н., доцент НИ ТПУ ИНК ФМПК  
**Капранов Б.И.** – д.т.н., профессор НИ ТПУ ИНК ФМПК  
**Кагасонов А.О.** – студент АлтГУ  
**Ким В.В.** – студент, магистрант НИ ТПУ ИНК ФМПК  
**Ким К.С.** – магистрант, НИ ТГУ ФПМК  
**Кириллов А.И.** – м.н.с., ИМ УрО РАН  
**Киселёв Е.К.** – аспирант, НИ ТПУ  
**Коженикова О.Г.** – магистрант, НГТУ  
**Колдин И.Ю.** – магистрант АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Колтакова А.Е.** – магистрант, НГТУ  
**Кондрашкин Г.Е.** – студент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Конюшенко Ю.С.** – студент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Красиков А.А.** – заведующий лабораторией ИГТ и ПЭ ФГБОУ ВО АГМУ Минздрава России МЗ РФ  
**Краснослабодцев Р.А.** – АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Кривобоков Д.Е.** – доцент, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Лен С.А.** – магистрант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Литвих М.Е.** – аспирант, ИВЭП СО РАН  
**Лукьянов В.Г.** – к.т.н., доцент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Маликов В.Н.** – преподаватель колледжа АлтГУ, аспирант, АлтГУ  
**Мамонтов А.И.** – доцент, к. т. н., НИУ «МЭИ»  
**Матвиенко К.Г.** – студент, магистрант НИ ТПУ ИНК ФМПК  
**Мирошниченко И.П.** – зав.кафедрой «ОКМ», к.т.н., доцент ДГТУ  
**Моисеева А.А.** – студент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Муравлев К.А.** – студент АлтГУ  
**Мухорьянов Р.Б.** – студент, магистрант НИ ТПУ ИНК ФМПК  
**Нагорняк А.С.** – аспирант, ФГБОУ ВО АГМУ Минздрава России,  
**Назаров Р.Х.** – студент АлтГУ  
**Назрюхин И.С.** – студент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Небылица Я.И.** – студент АлтГУ  
**Нордгеймер И.В.** – студент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Падалко В.С.** – аспирант АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Патрушев Е.М.** – к.т.н, доцент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Патрушева Т.В.** – старший преподаватель, АлтГТУ им. И.И. Ползунова

**Пахомов И.Е.** – студент АлтГУ  
**Первухин Б.С.** – профессор, д.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Петросян А.А.** – студент СНИУ имени академика С.П. Королева  
**Поляков Р.А.** – АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Попов К.П.** – аспирант ИВЭП СО РАН  
**Попова С.А.** – студент НИУ «МЭИ»  
**Пронин С.П.** – д.т.н., профессор АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Рагимова Т.А.** – доцент, к.т.н., ДГТУ  
**Радченко А.Д.** – студент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Радченко С.Е.** – к.т.н., н.с., НГТУ  
**Ремпель П.В.** – студент, АлтГТУ им. Ползунова  
**Репетун Д.Ю.** – студент АлтГУ  
**Роман Е.В.** – студентка АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Рюмкин А.В.** – студент гр. 1БМ63, ИНК НИ ТПУ  
**Сагалаков А.М.** – д.ф.-м.н., профессор, АлтГУ  
**Санников А.В.** – главный специалист, к.ф.-м.н, отдел развития информационных систем и ресурсов управления связи и массовых коммуникаций Алтайского края,  
**Серикбосын Е.А.** – студент, магистрант НИ ТПУ ИНК ФМПК  
**Смирнов А.М.** – инженер научно-исследовательского отдела госэталон, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева  
**Соловьев В.А.** – аспирант, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Степанов А.Б.** – старший преподаватель, ИНК НИ ТПУ  
**Суторихин И.А.** – профессор, д.ф.-м.н., ИВЭП СО РАН  
**Сучкова Л.И.** – д.т.н., профессор АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Тарар М.В.** – студент НИУ «МЭИ»  
**Ткачев В.В.** – студент АлтГУ  
**Тулин Н.Ю.** – заведующий лабораторией ИГТ и ПЭ ФГБОУ ВО АГМУ Минздрава России МЗ РФ,  
**Умбетов С.В.** – аспирант АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Фещенко Д.Н.** – студент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Хазамова М.А.** – доцент, к.т.н., доцент, ДГТУ  
**Хмелев В.Н.** – директор по научной работе, д.т.н., МИПООО «ЦУТ АлтГТУ»  
**Шарлаев Е.В.** – к.т.н., доцент АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Шелковникова Т.Е.** – студент, ФГБОУ ВО ИжГТУ  
**Юшкова В.Б.** – ст. преподаватель АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Яковенко Р.А.** – студент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Якунин А.Г.** – заведующий кафедрой, д.т.н., профессор АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
**Якшигильдина Р.И.** – студент ИНК НИ ТПУ

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ 1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ

<b>Жирнов М.А., Мамонтов А.И., Попова С.А., Тарар М.В.</b> Экономная реализация классификаторов	3
<b>Антипова Л.А., Борисов А.П.</b> Исследование дальности распространения сигнала в Wi-Fi сети топологии Mesh	6
<b>Кривобоков Д.Е., Соловьев В.А., Смирнов А.М.</b> Методика определения параметров лабораторного кондуктометрического первичного преобразователя	10
<b>Воробьев Д.С., Якунин А.Г.</b> Исследование влияния месторасположения датчика температуры на процесс терморегулирования на примере релейного управления проточного водонагревателя	14
<b>Лен С.А., Гребеньков А.А.</b> Создание макроса в среде Solidworks для автоматизации процесса моделирования лопасти воздушного винта	17
<b>Ремпель П.В., Борисов А.П.</b> Использование развернутой сети Wi-Fi для позиционирования внутри помещения	21
<b>Поляков Р.А., Лукьянов В.Г.</b> Определение порога цветоразличения устройства для идентификации цвета	24
<b>Винник О.Ю., Пронин С.П.</b> Разработка алгоритмического и программного обеспечения для определения формы вибрации	27
<b>Еремин В.Б., Борисов А.П.</b> Исследование распространения сигналов стандарта LoRa в сложных городских условиях	32
<b>Гопанков Д.Н., Кондрашкин Г.Е., Пронин С.П.</b> Исследование качества привода вращения в навигационной системе	36
<b>Поляков Р.А., Лукьянов В.Г.</b> Алгоритм идентификации цветов по их спектрам отражения	39
<b>Гопаченко Ю.О., Якунин А.Г.</b> Программный комплекс для автоматизации процесса проектирования сети зарядных станций для электромобилей	44

### РАЗДЕЛ 2 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

<b>Киселёв Е.К., Гольдштейн А.Е.</b> Измерение внутреннего диаметра проводящей трубы с применением вихретокового преобразователя	52
<b>Первухин Б.С., Афонин В.С., Юшкова В.Б.</b> Предпосылки создания метода определения параметров контактного преобразователя с различной площадью электродов	54

<b>Патрушева Т.В., Патрушев Е.М., Наздрюхин И.С.</b> Разработка лазерного фотоэлектрического прибора для контроля количества пластмассовых изделий	58
<b>Падалко В.С., Зрюмов Е.А., Пронин С.П., Зрюмов П.А.</b> Применение оптического волокна для улучшения качества экрана динамического тест-объекта	63
<b>Мирошниченко И.П.</b> Оптические способ и устройство для измерения пространственных перемещений поверхностей объектов контроля	67
<b>Ганжа В.А., Ганжа А.В.</b> О выборе прототипа прибора контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежного покрова грунтовых аэродромов и автодорог	71
<b>Радченко С.Е., Кожевникова О.Г.</b> Определение интенсивности фонового излучения и положения спектральных линий в энергетическом спектре гамма-излучения	74
<b>Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Ильченко Е.В.</b> Контроль технологических процессов и явлений, протекающих в ультразвуковых полях	79
<b>Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Кадилова Д.К., Казумов Р.Ш.</b> Термоэлектрический теплообменный аппарат с возможностью автоматической интенсификации теплообмена	83
<b>Букатый В.И., Литвих М.Е.</b> Сезонная динамика размерного состава взвешенного вещества в разнотипных озёрах Алтайского края	86
<b>Исмаилов Т.А., Евдулов Д.В., Габитов И.А.</b> Результаты натурных испытаний системы охлаждения элементов РЭА с повторно-кратковременными тепловыделениями	90
<b>Умбетов С.В., Пронин С.П.</b> Исследование зависимости уровней сигналов у цветовых компонент в цветном изображении металлической поверхности от толщины коррозионного покрытия	94
<b>Колтакова А.Е., Радченко С.Е.</b> Определение параметров вольт-амперных характеристик контакта Джозефсона	98

### **РАЗДЕЛ 3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ**

<b>Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Маликов В.Н., Пахомов И.Е., Сагалаков А.М., Муравлев К.А., Небылица Я.И.</b> Исследование электрической проводимости полупроводников с использованием сверхминиатюрного вихретокового преобразователя	103
<b>Якшигильдина Р.И., Степанов А.Б.</b> Метод измерения уровня и границы раздела между слоями двухслойной жидкости в резервуаре, основанный на применении двух ёмкостных датчиков уровня	105

<b>Дробот П.Н.</b> Осцилляторный датчик температуры с частотным выходом для океанических глубоководных систем мониторинга температуры	108
<b>Маликов В.Н.</b> Современные методы вихретоковой дефектоскопии для исследования дефектов сплавов	112
<b>Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Катасонов А.О., Маликов В.Н., Жданов И.А., Ткачев В.В., Муравлев К.А.</b> Сверхминиатюрные вихретоковые преобразователи для исследования боридных покрытий	115
<b>Астахова А.В.</b> Требования к АРМ специалиста по планированию и контролю реализации комплекса работ сложных проектов	118
<b>Рюмкин А.В., Вавилова Г.В.</b> Влияние размеров дефектов на ёмкость провода	122
<b>Дробот П.Н.</b> Датчик магнитного поля с частотным выходом для криогенных температур	125
<b>Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Маликов В.Н., Репетун Д.Ю., Сагалаков А.М., Назаров Р.Х., Небылица Я.И.</b> Годографы для сверхминиатюрного вихретокового измерителя-трансформера	127
<b>Ивченко С.П., Сучкова Л.И.</b> Выявление закономерностей в данных с применением иерархии темпоральных объектов	131

#### **РАЗДЕЛ 4 ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

<b>Исмаилов Т.А., Рагимова Т.А., Хазамова М.А.</b> Термоэлектрическая система для диагностики стоматологических заболеваний	135
<b>Баландович Б.А., Нагорняк А.С.</b> Методы, средства измерений и оценка факторов производственной среды на рабочих местах медицинского персонала в санатории	139
<b>Суторихин И.А., Красиков А.А., Тулин Н.Ю.</b> Распределение уровней электромагнитного излучения от ПЭВМ в помещении	143
<b>Акулова О.Б., Букатый В.И., Попов К.П.</b> Статистический анализ спектральной прозрачности озёрной воды (на примере водоёмов Алтайского края)	146
<b>Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Абдулхакимов У.И.</b> Автоматизированная система для проведения контрастных тепловых процедур в косметологической практике	150
<b>Ермаков А.В., Якунин А.Г.</b> Программно-аппаратный комплекс для исследования методов анализа миографических сигналов	154
<b>Моисеева А.А., Конюшенко Ю. С., Зрюмова А.Г., Пронин С.П.</b> Исследование метода контроля бенз(а)пирена в воде, основанного на изменении мембранного потенциала зерна пшеницы	157
<b>Суторихин И.А., Тулин Н.Ю., Красиков А.А.</b> Создание гео-	162

информационной системы по виброакустическому загрязнению города	
<b>Алексеев А.В., Сучкова Л.И.</b> Проектирование и реализация мобильного приложения для ориентирования в университетском кампусе	165
<b>Краснослабодцев Р.А.</b> Распознавание лиц искусственной нейронной сетью с предварительной бинаризацией входных сигналов методом Отсу	167

## РАЗДЕЛ 5 ЭЛЕМЕНТЫ, УСТРОЙСТВА И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ

<b>Бессонов А.С.</b> Компьютерные модели мод кольцевого резонатора	172
<b>Истомин К.А., Калинин А.Н.</b> Применение эксилампы в люминесцентном методе капиллярного контроля	175
<b>Ким В.В., Капранов Б.И.</b> Анализ геометрии и эффективности работы сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) для излучения $Co^{60}$ (E=1250КэВ)	178
<b>Яковенко Р.А., Сучкова Л.И.</b> Разработка программного обеспечения для исследования вариантов хранения и обработки данных в системах BigData	184
<b>Ким К.С., Смагин В.И.</b> Применение метода прогнозирования Брауна к задаче управления запасами	191
<b>Матвиенко К.Г.</b> Сравнительная статистическая оценка эффективности ручной и автоматизированной процедур тепловой дефектотрии ударных повреждений в композитах	196
<b>Сучкова Л.И., Колдин И.Ю.</b> Перспективы применения метода PGG для обработки данных с использованием геометрических паттернов	198
<b>Матвиенко К.Г.</b> Статистический анализ термограмм при активном тепловом контроле композитов	202
<b>Серикбосын Е.А., Капранов Б.И.</b> Ультразвуковая томография объектов цилиндрической формы на основе секторного сканирования	204
<b>Ким В.В.</b> Радиометрическая дефектоскопия.....	206
<b>Ермолин К.С., Кириллов А.И., Шелковникова Т.Е.</b> Применение программно-определяемой технологии в качестве приемного тракта акустических информационно-измерительных систем	215
<b>Серикбосын Е.А., Капранов Б.И.</b> Разработка методики ультразвуковой томографии крупногабаритной запорной арматуры высокого давления на основе использования фазированных решеток	219
<b>Мухорьянов Р.Б., Капранов Б.И.</b> Коррекция апертурных ис-	223

кажений в системах измерения плотности в объеме

## РАЗДЕЛ 6 ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Загинайлов Ю.Н., Нордгеймер И.В., Санников А.В.** Нормативно-методическое обеспечение для организации применения электронной подписи в системе ЭДО органа государственной власти 227
- Радченко А.Д., Шарлаев Е.В.** Обеспечение защиты информационных ресурсов мобильных устройств в условиях возможного компрометирования 230
- Петросян А.А., Бондаренко В.В., Бурлаков М.Е.** Применение генетических алгоритмов в криптоанализе 234
- Загинайлов Ю.Н., Роман Е.В., Санников А.В.** Оценка архива электронных документов системы электронного документооборота в органе государственной власти как объекта защиты информации 238
- Фещенко Д.Н., Шарлаев Е.В.** Разработка системы обнаружения DDoS атак на основе нейронной сети 241
- Будовских И.А., Загинайлов Ю.Н.** Количественная оценка защищенности персональных данных в информационной системе на основе двухкритериальной оптимизации по Парето 246
- Деменко А.М., Шарлаев Е.В.** Разработка алгоритма работы и интерфейса средства блокирования технических каналов утечки информации мобильных устройств 249

## Contents & Annotations

### 1. General questions of analysis and design of software and hardware to solve problems of measurement, control and automation

- Zhirnov M.A., Mamontov A.I., Popova S.A., Tarar M.V. **Economical implementation of classifiers.** \* In this article we are talking about creating and accelerating classifiers of texts on the Internet, about the naive Bayesian classifier, which is well suited for such tasks and its modifications 3-6
- Antipova L.A., Borisov A.P. **Investigation of the signal propagation range in the Wi-Fi network of the Mesh topology.** \* In the course of this work, a study was made of the Wi-Fi signal propagation of the Mesh topology network, which is described in the IEEE 802.11s standard. The theoretical range of information transmission in the Wi-Fi standard for Wemos D1 mini modules was calculated. With the help of these modules, a Mesh network was organized and the propagation of the signal without obstacles in the path of the signal propagation and through the obstacles was conducted. The experiment performed showed the same values as theoretically calculated 6-9
- Krivobokov, D.E., Soloviev V.A., Smirnov A.M. **Method of determination of parameters of the laboratory conductivity of the primary converter.** \* The method of definition parameters of contact conductivity of the transducer when using electrical equivalent circuit, letting to reduce the non-data influence on the measurement result and to improve metrological characteristics of the instrument control in General 10-14
- Vorobyev D.S., Yakunin A.G. **Investigation of the impact of the location of the temperature sensor on the thermoregulation process on the example of relay control of the flow water heater.** \* In this article, using the CAE model, the influence of the location of the temperature sensor on the thermoregulation process is studied using the example of a relay control of a flowing water heater 14-17
- Len S.A., Grebenkov A.A. **Creation of a macro in the Solidworks environment to automate the process of modeling the propeller blade.** \* This article describes the methodology for determining the geometric parameters of the propeller using dimensionless characteristics, and also shows an algorithm for the development of software that allows you to build an air propeller blade in a SolidWorks environment 17-21
- Rempel P.V., Borisov A.P. **Using a deployed Wi-Fi network for indoor positioning.** \* In the process of this work, a local network 21-24



of positioning based on a wireless Wi-Fi network was investigated. To organize the positioning system, the Wemos D1 mini modules were used as a Wi-Fi network scanner. To calculate the coordinates, we used the algorithm Weighted centroid, which calculates the coordinate of the agent as a linear combination of the coordinates of the access points, taking into account the power of the signals, as a characteristic of the weight. The label collects data on the powers of the visible access points and, based on the algorithm, calculates the location of the sought point. The experiment performed shows that the location data of the point with four hot spots will be more accurate than with the three

Polyakov R.A., Lukyanov V.G. **Determination of the color threshold of the device for color identification.** \* The threshold of color identification of the device for identification of industrial products by color shades has been determined in the work, while it has been experimentally shown that the threshold of color-matching of the device is consistent with the threshold of color-determining of the eye 24-27

Vinnik O.Yu., Pronin S.P. **Development algorithmic and the software for determination of the form of vibration.** \* The result of a research of change of brightness in the image of conjugate dashes with zero contrast is reflected in operation. It is set that the structure of change of brightness in their image significantly depends on the form of vibration. On the basis of this experimental fact the reverse task is solved – on structure of change of brightness in dashes with zero contrast the algorithm and the program for determination of the form of vibration is developed 27-31

Eremin V.B., Borisov A.P. **Investigation of LoRa signal propagation in difficult urban conditions.** \* In the course of this work, a study was made of the propagation of LoRa signals. Theoretical losses were calculated in the free space, the total amplification of the system and the range of information transmission. A complex based on Arduino Uno and LoRa Shield was also developed. Two cases of using receivers were considered: without and with a gain antenna. The experiment performed showed approximately the same values as theoretically calculated ones 32-35

Gopankov D.N, Kondrashkin G.E., Pronin S.P. **Research of quality of the drive of rotation in the navigation system.** \* In operation researches of quality of the drive of rotation in the navigation system are provided. For an assessment of quality change of rotational speed of a rotor is used. Calculation of change of speed is executed in three statistical parameters: to mean value, mean squared deviation and confidential interval. It is set that the most 36-39

demonstrative parameter is the confidential interval of change of speed which, in case of low-quality mounting, changes by 3,8 times

Polyakov R.A., Lukyanov V.G. **The algorithm for identifying colors by their reflection spectra.** \* In this paper, an algorithm for identifying colors by their reflection spectra was developed. At the same time, a physical model of color on the basis of which a device for color identification was developed was developed and investigated 39-43

Gopachenko J.O., Yakynin A.G. **Software complex for automation of the process of engineering a system of charging stations for electric cars.** \* The article presents the results of research on the basis of which proposed a mathematical model and developed a software complex that allows calculating and analyzing the efficiency indicators of the charging station for electric cars, as well as investigating and optimizing the dependencies that influence these indicators 44-51

## 2. Methods and means of measurement

Kiselev E.K., Goldshtein A.E. **Measurement of the inner diameter of a conducting pipe using an eddy current transducer.** \* The method of eddy current control of the inner diameter of conducting tubes is proposed and its improvement is proposed. The design of the eddy current transducer, the algorithm for converting its signals, and the structural diagram of the internal pipe diameter monitoring system are considered 52-53

Pervuhin B.S., Afonin V.S., Yushkova V.B. **The background to the method of determining the parameters of the contact of the transducer with different size electrodes.** \* The article deals with the prerequisites for the creation of a method of determining the parameters of the contact of the transducer with different size electrodes. The methods developed previously, was used to measure the conductivity of liquid with the primary transducer with equal area electrodes. These methods do not allow to determine the co-becoming of the test fluid 54-58

Patrusheva T.V., Patrushev E.M., Nazdryuchin I.S. **Development of a laser photoelectric device for controlling the number of plastic products.** \* The paper describes the design of a laser photoelectric sensor, with a detector based on a nonautonomous chaotic oscillator. Every photoelectric device receives a signal under the background of noise interference, which strongly depends on background illumination. For this reason, the use of a simple detector with a synchronous detector can not ensure a constant probability 58-63

- of false alarm with different background illumination. The solution to the problem is to use the chaotic oscillator as a detector
- Padalko V.S., Zryumov E.A., Pronin S.P., Zryumov P.A. **The use of optical fiber to improve the screen of dynamic test object.** \* 63-66  
The article describes the design of a screen of dynamic test object with the use of optical fiber. Quality of the image of screen of the dynamic test object based on LEDs and the quality of the image of screen of the dynamic test object based on LEDs and optical fiber are compared
- Miroshnichenko I.P. **Optical method and device for measuring spatial movements of the surfaces of objects of control.** \* 67-71  
The proposed new method and optical device for contactless measurement of small spatial displacements of the surfaces of objects of control that allow to simultaneously register all linear and angular components of the small displacements of surfaces of objects of control
- Ganzha V.A., Ganzha A.V. **On the choice of the prototype of the strength control device (bearing abilities) of the compacted snow cover of soil aerodromes and highways.** \* 71-74  
The article presents the main results of the analysis of literature and patent sources, conducted with the aim of choosing a prototype in the development of a new device – a hardness meter. The purpose of the new device is an operational field control of the strength of the compacted snow cover of airfields
- Radchenko S.E., Kozhevnikova O.G. **Determination of the intensity of background radiation and the position of the spectral lines in the energy spectrum of gamma radiation.** \* 74-79  
The paper proposes a statistical approach to solve the problem of determining the energy scale and composition of the gamma-ray spectrum. Its application made it possible to obtain effective estimates of the intensity of the background radiation and the position of the spectral lines in the scale of the spectral sample numbers.
- Khmelev V.N., Barsukov R.V., Ilchenko E.V. **Technological processes and phenomena monitoring in ultrasonic fields.** \* 79-83  
The article is devoted to the monitoring of the liquid technological media during the ultrasonic impact. A general scheme for media parameters monitoring using an ultrasonic oscillatory system as a sensor is considered
- Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Kadirova D.K., Kasumov R.Sh. **Thermoelectric heat exchange apparatus with automatic heat exchange intensification.** \* 83-86  
The paper discusses the design of thermoelectric heat exchanger, which provides the possibility of

intensification of heat transfer between the environments, and the junctions of thermoelectric modul and triggers the battery. Such a process of intensification of heat transfer is implemented through the use of additional air units carrying out blowing of air in the gaps between the junctions of the thermoelectric battery and transport areas with environments

Bukaty V.I., Litvih M.E. **Seasonal dynamics of the dimensional composition of suspended solids in different types of lakes in the Altai Territory.** 86-89

\* The paper presents the results of measurements of number concentration and size of particles in suspended matter in the surface layer of freshwater lakes of Altai Krai in different seasons during 2015-2017. The number and size of suspended particles were evaluated using the Nageotte counting chamber and the light microscope Nikon Eclipse 80i. The measurement results showed that the weight-average radius of the particles in the surface layer of Lake Lapa for the study period was 1.0  $\mu\text{m}$ , and in Lakes Krasilovskoe and Bol'shoe Ostrovnoe it was 1.2 and 1.2  $\mu\text{m}$ , respectively. The average value of the number concentration of suspended particles in the lakes under study varied from  $0.9 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$  to  $3.6 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$

Ismailov T.A., Yevdulov D.V., Gabitov I.A. **The results of field testing of cooling elements of electronic equipment with intermittent heat emission.** 90-93

\* In the article the cooling system of the electronics elements with intermittent by heat, is made on the basis of melting heat accumulators with additional air heat sink. The results of studies in the form of graphs of the dependencies changes in the temperature of the shell of the device during the melting chamber and solidification of the working substance, and the duration of complete melting (behind-the-verdiane) working agent depending on the input (exhaust) of thermal power

Umbetov S.V, Pronin S.P. **Research of dependance of levels of signals at color components in color a metal surface from thickness of a corrosion covering.** 94-98

\* The result of a research of change of RGB components in the image of a metal surface with a corrosion covering is reflected in operation. Experimentally it is set that in case of increase in a corrosion covering on metal of position of median lines in histograms of color components naturally displace towards zero levels. Change of position of median lines of histograms of color components in the image of a metal surface can serve as criterion of thickness of a corrosion covering

Koltakova A.E., Radchenko S.E. **Determination of the parameters of the current-voltage characteristics of a Josephson junctions** 98-102

**tion.** \* On the basis of complete sufficient statistics, effective estimates of the parameters of the linear approximation of the current-voltage characteristics of the Josephson junction were obtained. Simulation modeling confirmed the expediency of applying the proposed estimates in the conditions of laboratory experiments

### **3. Information systems, the measuring and operating complexes**

Dmitriev S.F., Ishkov A.V., Malikov V.N., Pakhomov I.E., 103-105

**Sagalakov A.M., Muravlev K.A., Nebylytsya Ya.I. Study of the electrical conductivity of semiconductors using a subminiature eddy current transducer.** \* A measuring system has been developed that makes it possible to evaluate the quality of semiconducting materials using the method of eddy currents. The basic information about the sensor used for scanning materials is given. The results of experiments are described, which make it possible to conclude that a measuring system can be used in the study of semiconductors

Yakshigildina R.I., Stepanov A.B. **Method of the level gauging and the interface between the layers of a two-fluid system in the storage based on the use of two capacitance level sensors.** \* 105-108

Describes the measurement method of relative permittivities of layers of a two-fluid system and position determination of the interface between layers, based on the use of two capacitance level sensors. The results of mathematical modeling of this method of measurement are presented

Drobot P.N. **Oscillistor temperature sensor with frequency output for deep oceanic temperature monitoring systems.** \* 108-112

Studied the design and specifications of deep-sea research complexes of foreign and domestic production to measure temperature water and other characteristics. It is shown that the replacement of analog temperature sensors in these complexes on oscillistors temperature sensors with frequency output will lead to a significant simplification, increase of reliability and reduction of the measuring path temperature. Therefore, this solution seems relevant, also taking into account Russia's Arctic program

Malikov V.N. **Modern methods of eddy current flaw detection for the study of defects in alloys.** \* 112-115

Based on the eddy current transducer, titanium plates joined by a welded seam and aluminum-magnesium alloys. The main technical information about the eddy current converter used is presented. An estimate of the depth of penetration of the eddy current field into the object under investigation was made and dependences were obtained demonstrating the

magnitude of the response of the eddy current transducer at various depths of the defect location

Dmitriev S.F., Ishkov A.V., Katasonov A.O., Malikov V.N., Zhdanov I.A., Tkachev V.V., Muravlev K.A. **Ultra-miniature eddy current transducers for the study of boride Coatings.** \* A sub-miniature eddy current transducer has been developed that makes it possible to study hardening coatings based on boron. An explicit relationship was established between the electromagnetic and strength characteristics of the coating. It has also been established that the characteristics of boride coatings obtained on structural and alloyed steels using HD heating are not monotonic, but have an optimum in their dependences on time 115-118

Astahova A.V. **Requirements for AWP specialist for planning and monitoring the implementation of complex works of the work package of elaborate projects.** \* The problem of minimizing the risks of large projects by developing a schedule of work packages and corresponding resource management plans with subsequent monitoring of the actual progress of implementation of plans and their actualization is considered. The main ideas of the technical task for the development of an automated workplace (AWP) for a specialist in the management of production processes that implement elaborate complexes of interrelated works are described, taking into account theoretical methods for optimizing network schedule and practical methods of calculating the cost of work 118-122

Ryumkin A.V., Vavilova G.V. **Size effect of defects on wire capacitance.** \* The paper describes researches aimed at exposure of efficiency of the size of the wire insulation defect on the value of its capacitance at a frequency regulated by GOST 27893-88. A wire model with variable defect parameters was created for the research. As a result of the research it was revealed that the use frequency does not allow detecting even visible defects 122-125

Drobot P.N. **Magnetic field sensor with a frequency output for cryogenic temperatures.** \* Studied the characteristics of silicon oscillistor magnetic field sensor with frequency output, effectively operating at cryogenic temperatures. The sensor operates as in switching power supply, and when powered by DC voltage from low-voltage electrochemical power sources. The amplitude of the measuring signal is high: from 0.1 to 1.0 mV, and the frequency of the measuring signal a few megahertz. The sensor has high sensitivity to the magnetic field from 1.0 to 2.0 MHz, depending on the selected supply voltage 125-127

Dmitriev S.F., Ishkov A.V., Malikov V.N., Repetun D.Yu., Sagalakov A.M., Nazarov R.Kh., Nebylica Ya .I. **Hodographs for a subminiature eddy current transformer meter.** \* This article deals with the transducer of the transformer type that gives us an opportunity to measure the value of the electroconductivity and the intensity of the constant magnetic field. The article is provided with the block diagram of the sensor-transformer and the measuring methods are also given here. These methods make it possible to reconstruct the values of the electroconductivity of the object under control according to the values of the voltage brought into the transducer winding with a pinpoint accuracy. The transducer enables us to measure the intensity of the constant magnetic field of the object under control

127-130

Ivchenko S.P., Suchkova L.I. **Identifying regularities in data using the hierarchy of temporal objects.** \* The paper describes a method for analyzing information, called "Unification-based Temporal Grammar". The basic idea of finding patterns using this method is to break up a complex problem into several simple subtasks and easy to understand levels of temporal abstraction. Algorithms that implement this method and a special grammar designed to present results in a human-readable form are developed

131-134

#### **4. Measurement, control, automation and informatization in medicine and ecology**

Ismailov T.A., Ragimova T.A., Hazamova M.A. **Thermoelectric system for diagnostics of dental diseases.** \* Prospects and possibilities of diagnostics of pulpitis by natural physical factors, such as temperature influence (cold and thermal) with high accuracy of temperature maintenance are considered. The design of the developed device for thermodontometry is presented

135-138

Balandovich B.A., Nagornyak A.S. **Methods, means of measurement and assessment of factors of the working environment in the workplace of medical personnel in a sanatorium.** \* This article discusses methods, means of measurement and assessment of working conditions of medical personnel participating in the conduct of physiotherapy procedures in sanatoriums. Different degrees of occupational risk, classes of working conditions and indices of occupational morbidity for doctors and paramedical personnel in hydrotherapy, mud therapy, paraffin treatment, radon procedures and therapeutic massage have been determined. A set of preventive measures has been developed to prevent occupational morbidity and increase morbidity with temporary disability

139-143

Sutorikhin I.A.; Krasikov A.A.; Tulin N.Y. **Distribution of elec-**

143-146

**tromagnetic radiation levels from a computer in a room.** \* All computer equipment, which is operated on the territory of Russia, passes mandatory certification. Requirements for PC placement are formulated. However, it is not regulated by normative documents how to optimally locate a PC for interior items in an office or apartment. Considering the influence of furniture placement on the distribution of electromagnetic radiation levels from a PC, it is possible to model the most rational placement in an apartment, office, computer class, etc

Akulova O.B., Bukatiy V.I., Popov K.P. **The analysis statistical of lake water spectral transparency (water bodies of Altai Krai as a case study).** \* Results of long-term experimental data on lake water spectral transparency of the three water bodies in the Altai Krai – lakes Lapa, Krasilovskoye and Bol'shoye Ostrovnoye for the years 2014–2016 are given in work with the help of application of methods of statistical processing 146-150

Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Abdulkhakov U.I. **Automated system for conducting thermal contrast procedures in a cosmetic practice.** \* The paper discusses the design of an automated system for carrying out thermal contrast cosmetic procedures. The description of the prototype system. Given the variation in time of the temperature at the test points of the device (zones of thermal influence) with uniform and contrasting procedures. The conclusion about expediency of use of the device design developed in the cosmetological practice 150-154

Ermakov A.V., Yakunin A.G. **Computer appliance for research of methods for myographic signal analysis.** \* The article describes the features when recording the electromyogram. Consider the implementation of computer appliance and are given suggestions for its future use 154-157

Moiseeva A.A., Konyushenko Yu. S., Zryumova A.G., Pronin S.P. **Investigation of the method for controlling benzo(a)pyrene in water, based on changes in the membrane potential of wheat grains.** \* The article presents experimental studies of the membrane potential of wheat grain of high germination when it is germinated in water with various concentrations of benz (a) pyrene 157-162

Sutorikhin I.A.; Tulin N.Y.; Krasikov A.A. **Creation of a geoinformation system for vibro-acoustic pollution of the city.** \* Noise pollution of the environment is no less dangerous than other types of anthropogenic impact. In addition to noise in the modern city, infrasound, ultrasound, and vibrations from various sources exert a significant influence on human. To control the levels of vibroacoustic pollution, a geoinformation system is created. The 162-164



system allows to determine and predict the degree of contamination of the microdistrict of the city

Alekseev A.V., Suchkova L.I. **Design Developing and designing a mobile application for orientation at the university campus.** \* 165-167

The given work is devoted designing and working out of the mobile application for orientation in a university campus taking into account requirements trained. The algorithm of construction of an optimum route to the set place in buildings and in university territory is developed, the database for information storage is designed.

Krasnoslabodtsev R.A. **Recognition of human faces by artificial neural network with preliminary binarization of input signals by Otsu's method.** \* 167-171

The given work is devoted to the investigation of pre-processing to the binarization of the input signal of the neural network by Otsu's method

## **5. Elements, devices and software for measurement, control and informatization**

Bessonov A.S. **The computer models of a ring cavity modes.** \* 172-175

The necessity of computer modeling in the design of optoelectronic measuring systems is pointed. The wide use of system parts and components models is suggested. The computer models of ring cavity modes are described in detail. The ring cavities are objects of measurement in the production of ring lasers. The models were created in the LabVIEW environment

Istomin K.A., Kalinichenko A.N. **Application of the excilamp in the luminescent method of capillary control.** \* 175-178

The subject of the study is the excilamp – the electric-discharge sources of spontaneous ultraviolet radiation produced by the decay of excimer or exciplex molecules. The purpose of this study was to assess the possibility of using an excilamp in the luminescent method of capillary control. The evaluation was carried out by comparing the technical and economic capabilities of the excilamp with the already used ultraviolet irradiators in the luminescent method of control

Kim V.V., Kapranov B.I **The anisotropy of the geometry and the efficiency of the operation of the scintillation crystal NaI (Tl) for the radiation  $Co^{60}$ ,  $E = 1250KeV$ .** \* 178-184

The subject of the study is the scintillation crystal NaI (Tl). The aim of the present study was to anise the geometry and efficiency of the scintillation NaI (Tl) crystal for  $Co^{60}$ ,  $E = 1250KeV$  radiation. The analysis was carried out by calculating the interaction of gamma quanta with matter

- Yakovenko R.A., Suchkova L.I. **Development of software for the study of options for storing and processing data in Big Data systems.** \* The article is devoted to the description of the simulation model and its software implementation for the study of storage options and data processing in BigData systems. Parameters for configuring data storage options on which the performance of the system directly depends are revealed. The basic models of work with queues are analyzed. A mathematical model of estimating time for sampling data for a single record is obtained. The software allows you to evaluate the efficiency of the configuration of the data storage option using various client requests 184-191
- Kim K.S., Smagin V.I. **Application of the Brown prediction method to inventory control.** \* This paper describes the algorithm for determining the deliveries by optimization of local criterion with considering for traffic delays and restrictions. The prediction of demands necessary for calculations is proposed to be determined using the Brown method. The results of numerical simulation are presented 191-196
- Matvienko K.G. **Comparative statistical assessment of efficiency of the manual and automated procedures of a thermal defektometriya of shock damages to composites.** \* In this work the analysis of results of measurement of infrared thermograms of composites has been carried out, at the manual and automatic choice of defective zones. For descriptive reasons dispersion of estimates of the extent of defects and size of thermal inertia, 28 operators with various experience in multinational corporation have taken part in work 196-198
- Suchkova L.I., Koldin I.Y. **Prospects for applying the PGG method for processing data using geometric patterns.** \* The report is devoted to the processing of data monitoring using geometric patterns. Observed geometric pattern and how its formed. Describes the PGG method and the prospects for its integration with geometric patterns 198-201
- Matvienko K.G. **The statistical analysis of thermograms at active thermal control of composites.** \* In thermal control an important role at interpretation of results is played by experience of the operator. Still, rejection of defects is made without quantitative estimates. In TPU the computer program of the analysis of defective marks is developed 202-204
- Serikbosyn E.A., Kapranov B.I **Ultrasonic tomography of cylindrical objects based on sector scan.** \* The subject of the study is a phased array – a piezoelectric transducer consisting of a set of 204-206

piezoelements (from 16 to 64). The purpose of this study was to analyze the possibilities of using ultrasound tomography based on phased arrays for monitoring cylindrical objects using the example of high-pressure shut-off valves of the luminescent capillary control method. The analysis was carried out by developing a technique for ultrasonic tomography of cylindrical objects

Kim V.V. **Radiometric defectoscopy.** \* The subject of the study is the radiometric defecoscope RD-30RM. The purpose of this study was to review and operate the radiometric flaw detector. The analysis was carried out by studying the device and the operation of RD-30RM 206-214

Yermolin K.C., Kirillov A.I., Shelkovnikova T.E. **Application of software-defined technology as a receiving channel of acoustic information-measuring systems.** \* Features of application of technology of a software-defined system in acoustic information-measuring systems are considered. It is shown that the system allows processing signals in a wide frequency range. Recommendations are given on the development of software for receiving and processing data using the RTL-SDR device 215-219

Serikbosyn E.A., Kapranov B.I. **Development of the technique of ultrasonic tomography of a large-sized shut-off valve of high pressure based on the use of phased arrays** \* The subject of the study is a phased array – a piezoelectric transducer consisting of a set of piezoelements (from 16 to 64). The purpose of this study was to analyze the possibilities of using ultrasound tomography based on phased arrays for monitoring cylindrical objects using the example of high-pressure shut-off valves of the luminescent capillary control method. The analysis was carried out by developing a technique for ultrasonic tomography of cylindrical objects 219-223

Mukhoryanov R.B., Kapranov B.I. **Correction of aperture distortions in systems for measuring density in a volume.** \* Correction of aperture distortions in systems for measuring density in a volume. We used the properties of convolution theory to reconstruct 1D array 223-226

## 6. Information security

Zaginaylov Yu.N., Nordgejmer I.V., Sannikov A.V. **Normative and methodological support for the Organization of the use of an electronic signature in public authority the Edo system.** \* In this paper the development of normative and methodological documents for the use of an electronic signature in electronic documentation system of public authority. The groups of requirements, 227-230

composition, structure and content of the normative and methodological instruments are defined to regulate the reporting process with consideration of protection of the information

Radchenko A.D., Sharlaev E.V. **Providing information security for mobile devices in case of their comprometation** \* 230-234

The article describes information security threats for lost or stolen mobile devices and presents the concept model and the algorithm of the program for Android OS, intended for securing the information stored on mobile devices. The relevance of the program is simple intelligible interface and it's ability to provide encryption based protection for file systems

Petrosyan A.A., Bondarenko V.V., Burlakov M.E. **The use of genetic algorithms in cryptanalysis.** \* 234-238

The article discusses the usage of genetic algorithms as a tool for optimizing cryptanalysis. In particular, the usage of genetic algorithms in differential cryptanalysis of the block cipher DES to improve its efficiency. The fitness function for the differential cryptanalysis technique is considered. A software implementation is performed and the analysis of obtained data is made

Zaginalov Yu.N., Roman E.V., Sannikov A.V. **Evaluation of the archive of electronic documents of the electronic document management system in the public authority as an object of information protection.** \* 238-241

The paper considers the elements of the archive of electronic documents of the electronic document management system in the government authority. The existing protection mechanisms and information protection tools, the functional process of the archive and the vulnerabilities of the elements that create threats to information security in the information system are analyzed

Feshchenko D.N., Sharlaev E.V. **Development of the program based on neural network for detecting DDoS attacks** \* 241-245

The article describes the development of the algorithm and the interface of the program based on neural network for detecting DDOS attacks. The relevance of the program is it's ability to be used as a module and to be integrated into different types of applications for protection from DDoS attacks

Budovskih I. A., Zaginaylov, Yu. N. **Quantitative assessment of secure-STI personal data in the information system based on two-criterion optimization by Pareto.** \* 246-249

This paper considers the quantitative assessment of protection of personal data in the information system on the basis of two criteria optimization by Pareto. Optimization criteria and the criterion space are defined, stochastic

mathematical model, allowing to determine the quantitative values of security threat information and indicators for protected activity is formed

Demenko A.M., Sharlaev E.V. **Development of the program for blocking technical channels of leaking information from mobile devices** \* The article describes the development of the algorithm and the interface of the program for OS Android, intended for blocking technical channels of leaking information from mobile devices. The relevance of the program is simple intelligible interface and the lack of Russian analogs 249-255

**ИЗМЕРЕНИЕ,  
КОНТРОЛЬ,  
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ**

**Материалы XVIII международной  
научно-технической конференции**

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 10.06.2017. Формат 60×84 1/16.

Печать – цифровая. Усл.п.л. 16,15.

Тираж 70 экз. Заказ 2017 – —

Издательство Алтайского государственного  
технического университета им. И. И. Ползунова,  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

Отпечатано в типографии АлтГТУ,  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46