

Министерство науки и высшего образования РФ
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 XIX международной научно-технической
конференции

Том 1

23 мая 2018 г., г. Барнаул

Изд-во АлтГТУ
Барнаул – 2018

УДК 681.2+004
И 374

И 374 Измерение, контроль, информатизация: материалы XIX международной научно-технической конференции. Т. 1 /под ред. Л.И. Сучковой. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – 169 с.

ISBN 978-5-7568-1280-0 (т. 1)
ISBN 978-5-7568-1279-4

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

В сборнике публикуются материалы XIX международной научно-технической конференции «ИКИ-2018» (доклады и/или их тезисы), проходившей в г. Барнауле в Алтайском государственном техническом университете 23 мая 2018 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 978-5-7568-1280-0 (т. 1)
ISBN 978-5-7568-1279-4

- © Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2018
- © Лаборатория информационно-измерительных систем АлтГТУ, 2018
- © Кафедра информатики, вычислительной техники и информационной безопасности АлтГТУ, 2018

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

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ МОДЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

А.С. БЕССОНОВ

Компьютерные, или виртуальные, измерительные системы (КИС) [1] нашли широкое распространение при проведении научных исследований, на производстве и в образовании. Они строятся на платформе персонального компьютера (ПК) и являются аппаратно-программными автоматизированными системами. ПК выполняет функции сбора, обработки данных и представления результатов измерений. Назначение и используемые методы измерений многих КИС определяются их прикладным программным обеспечением (ППО), и они в полной мере относятся к *Software Intensive Systems* [2].

Для создания КИС может применяться *модельно-ориентированное*, или *модельное, проектирование* (МОП, Model-Based Design, MBD) [3]. Как известно, данный подход более распространен для проектирования встраиваемых систем, когда результаты моделирования переносятся на целевую платформу путем автоматической генерации кода. При проектировании КИС моделирование происходит схожим образом, но в переходе на другую платформу нет необходимости. Действительно, здесь ПК одновременно является и средством разработки, и составной частью системы, что порождает дополнительные преимущества применения МОП для создания КИС.

Основная идея МОП такова, что, имея на ранних стадиях проектирования только модели объекта измерений и аппаратной части КИС, разработчик может создать алгоритм функционирования и модули ППО системы практически в готовом виде. Такая возможность значительно повышает эффективность проектирования и позволяет избежать многих ошибок.

Общая структура расширенной модели КИС, предназначенной для МОП, приведена на рис. 1. Как видно из рисунка, данная модель является имитационной. В состав расширенной модели КИС входят частные модели объекта измерения, аппаратной и программной частей КИС. Предполагается, что в результате измерения необходимо определить параметры объекта измерения X . Измерительный сигнал S , несущий информацию о параметрах объекта измерения, поступает на вход аппаратной части

системы, преобразуется в измерительную информацию Y . Обработка Y дает с некоторой погрешностью искомый результат X^* . Программный модуль определения результатов моделирования нужен в тех случаях, когда моделирование проводится с целью оценки точностных или иных технических характеристик R системы. В ряде случаев объекты моделирования подвергаются неуправляемым и управляющим воздействиям. Например, измерительные сигналы имеют в своем составе помехи, при построении статистических моделей требуются шумовые возмущения, а пассивные объекты измерения требуют определенных возбуждающих воздействий.

Следует отметить, что МОП применяется на многих стадиях создания системы, начиная с технического задания [3]. Поэтому конкретные реализации частных моделей (рис. 1) определяются стадией и этапом проектирования.



Рисунок 1 – Общая структура расширенной модели компьютерной измерительной системы

При многократной разработке КИС определенного класса целесообразным оказывается использование *системы поддержки модельного проектирования* (СПМП). Поскольку моделирование и создание ППО в рассматриваемом случае происходит в одной программной среде, СПМП можно построить путем специализации изначально универсальной среды программирования. Иногда такая специализация обеспечивается производителем путем предоставления дополнительных тулсетов и тулkitов. Однако автору данного доклада, профессионально занимающемуся системами контроля параметров кольцевых лазеров и лазерных гироскопов, пришлось реализовать СПМП самому путем специализации среды графического моделирования и программирования LabVIEW. Причинами этого оказались новизна наших методов измерений, принципиальная гетерогенность оптико-электронных систем и полное отсутствие моделей оптических компонентов, входящих в аппаратную часть системы.

Как известно, среда графического моделирования и программирования LabVIEW предназначена для создания измерительных и управляющих систем и уже содержит необходимые для их создания базовые библиотеки функций и программных модулей, готовые программы, утилиты

и справочную подсистему (рис. 2). Несомненным преимуществом является сравнительная простота технологии графического моделирования и программирования. Благодаря наличию библиотек драйверов программные средства достаточно легко интегрируются с разнообразными устройствами ввода-вывода, которые могут использоваться для создания экспериментальных моделей или в составе аппаратной части КИС.

Большим преимуществом среды LabVIEW является ее *открытость* [2]. Следствием этого факта является наличие средств взаимодействия с другими моделирующими средами и программами, среди которых, например, актуальны среды схемотехнического моделирования. В качестве иллюстрации можно указать Multisim-модель фотоприемника, интегрированную в LabVIEW-модель измерительной системы [4]. Другой необходимостью стало взаимодействие с программами, осуществляющими расчет и моделирование оптической части КИС.

Создание СПМП КИС заданного класса на базе среды LabVIEW обеспечивается формированием пользовательской подсистемы специализации (рис. 2). Ее основой являются специализированные библиотеки составных частей моделей и программных модулей и специализированных прикладных программ моделирования, сбора и обработки данных. Справочную информацию о добавляемых специализированных средствах целесообразно помещать в базы данных моделей, программных модулей и прикладных программ, составляющих информационное обеспечение подсистемы.



Рисунок 2 – Архитектура системы поддержки модельного проектирования на основе среды LabVIEW

Деление средств пользовательской подсистемы специализации на различные библиотеки осуществляется по многим критериям, среди которых на первое место следует поставить стадию и этап проектирования, на котором составная часть модели используется, а также ее место, занимаемое в расширенной модели КИС. Поэтому, в соответствии с рис. 1, были выделены следующие библиотеки: моделей объектов измерения и измерительных сигналов, моделей составных частей аппаратной части КИС, моделей неуправляемых и управляющих воздействий, программных модулей предварительной и основной обработки данных и представления результатов измерений и программных модулей определения результатов моделирования. Каждая из этих библиотек может подвергаться дальнейшему делению до уровня элементов.

МОП КИС в рассматриваемом случае единства платформы моделирования и целевой платформы обеспечивает большую надежность и достоверность тестирования программного кода. В результате получаются готовые к использованию программные модули обработки и представления данных или даже начальные версии прикладных программ КИС, доводимые до рабочих версий тогда, когда становится доступным опытный образец КИС. Кроме того, единая платформа ПК позволяет оформлять модели в виде исполняемых приложений, что может оказаться полезным для последующего контроля проектных решений, устранения ошибок, доработки системы или обучения персонала и т. п.

В заключении следует отметить, что специализированные библиотеки целесообразно формировать в процессе проектирования конкретных КИС. Автор доклада использовал и при необходимости дополнял и расширял специализированные библиотеки в процессе выполнения новых проектов. Описания каждой составной части модели или программного модуля вносились в базу данных. Можно утверждать, что использование описанного подхода МОП всякий раз сокращало трудоемкость работ, число проектных итераций и избавляло от многих возможных ошибок, что нашло отражение в наших публикациях.

Литература. 1. Ширяев В.В. Компьютерные измерительные средства / В.В. Ширяев; Томский политехнический университет. - Томск, Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 180 с. **2.** Батоврин В.К. Системная и программная инженерия. Словарь-справочник / В.К. Батоврин. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 280 с. **3.** Ефремов А.А. Модельно-ориентированное проектирование - международный стандарт инженерных разработок / А.А. Ефремов, С.С. Сорокин, С.М. Зенков [Электронный ресурс]. URL: <https://matlab.ru/upload/resources/EDU%20Conf/pp%-2040-43%20Sorokin.pdf> (дата обращения: 04.05.2018). **4.** Бессонов А.С. Компьютерное моделирование оптико-электронных систем с использо-

ванием 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. – didugan4@mail.ru, тел. (499) 215-65-65 доб. 4045.*

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК – ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА – СРЕДА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ

А.Н. ТУШЕВ, Л.Ю. КАЧЕСОВА, А.С. ЮРЧЕНКОВ

Любой техногенный риск может приводить к негативным последствиям как для здоровья человека, так и для деятельности предприятия. Следовательно, актуальны разработка и совершенствование методов оценки возможных рисков [1].

Методы оценки техногенных рисков электроустановок объединяют три разновидности факторов риска, связанных с человеком, средой и эксплуатацией электроустановок. Совокупность указанных факторов рассматривается в системе "человек–электроустановка-среда" (Ч-Э-С) [2].

Существующие методы оценки техногенных рисков системы «Ч-Э-С» не учитывают темпоральные причинно-следственные связи, которые могут существовать между рискообразующими факторами (РОФ) [3].

Для учета темпоральных причинно-следственных связей между рискообразующими факторами предлагается использовать унарные операции прошлого времени пропозициональной темпоральной логики: «иногда в прошлом», «всегда в прошлом», «иногда в прошлом на интервале n , ..., k », «всегда в прошлом на интервале n , ..., k » и бинарные нечеткие операции «приоритетное И» и «before». [4]

Для оценки рисков техногенных опасностей системы «Ч-Э-С» с учетом темпоральных причинно-следственных связей между РОФ было разработано программное обеспечение, которое позволяет вычислять техногенные риски системы «Ч-Э-С» с использованием модифицированного метода нечеткого вывода Мамдани.

База знаний, на основе которой выполняется нечеткий вывод, имеет иерархическую структуру. Отдельно осуществляется нечеткий вывод для получения техногенных рисков R_x, R_y, R_z от рискообразующих факторов множеств X, Y, Z , где X – множество рискообразующих факторов, связанных с человеком, Y – множество рискообразующих факторов, связанных с электроустановкой, Z – множество рискообразующих факторов, связанных с окружающей средой. Полученные значения рисков R_x, R_y, R_z являются входными переменными для определения интегрированного техногенного риска в системе «человек – электроустановка - среда»:

$R = f(R_x, R_y, R_z)$. Иерархическая база данных позволяет избежать сложностей, связанных с построением правил для большого количества входных лингвистических переменных РОФ.

Продукционные правила базы знаний строятся с использованием нечетко-темпоральных высказываний. Фрагмент базы знаний для получения техногенного риска R_y техногенной опасности «Электротравма» приведен на рис. 1.



Рисунок 1 – Фрагмент базы знаний для получения техногенного риска R_y

Унарные темпоральные операции «иногда в прошлом», «всегда в прошлом», «иногда в прошлом на интервале $n, \dots, k$ », «всегда в прошлом на интервале $n, \dots, k$ » позволяют определить функцию принадлежности терма текущего момента времени лингвистической переменной РОФ на основе известных функций принадлежности термов прошлых моментов времени.

Для операции «всегда в прошлом» функция принадлежности терма текущего момента времени (нечеткая мера истинности) определяется путем аккумуляции функций принадлежности термов прошлых моментов времени:

$$\mu_t(x) = \max(\mu_1(x), \dots, \mu_{t-1}(x)) \forall x \in X$$

где $\mu_t(x)$ – функция принадлежности для терма текущего момента времени лингвистической переменной РОФ; $\mu_1(x) \dots \mu_{t-1}(x)$ – функции принадлежности для термов прошлых моментов времени лингвистической переменной РОФ.

Для операции «иногда в прошлом» функция принадлежности терма текущего момента времени (нечеткая мера истинности) определяется

следующим образом: из всех термов прошлых моментов времени выбирается терм с максимальным значением меры истинности. Нечеткие термы сравниваются на основании вычисленных значений их показателей ранжирования. Используемый метод ранжирования термов основан на сравнении средних значений [5]:

$$I(A, B) \geq m(A) - m(B),$$

где $m(A)$ и $m(B)$ – средние значения нечетких чисел A и B , соответственно. Знак и модуль показателя нечеткой меры $I(A, B)$ говорят о том, какое нечеткое число больше, и насколько. Диапазон значений при этом не нормирован. Средние значения $m(A)$ и $m(B)$ вычисляются по формуле:

$$m(A) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)},$$

где $\mu_A(x_i)$ – значение функции принадлежности к нечеткому числу A в точке x_i ; $\forall x_i \in X$, где X – универсальное множество для нечеткого множества.

Вычисления нечетких мер истинности высказываний, в которых применяются темпоральные унарные операции «всегда в прошлом на интервале $n, \dots, k$ » и «иногда в прошлом на интервале $n, \dots, k$ » выполняются аналогично операциям «всегда в прошлом» и «иногда в прошлом», но при этом рассматривается не все множество моментов времени в прошлом $[1, \dots, t-1]$, а лишь некоторое его непустое подмножество.

Для реализации нечетких логических операций «И» и «ИЛИ» используются следующие формулы:

$$\begin{aligned} \mu_{A_1 \wedge A_2}(x^*, x^{**}) &= \min(\mu_{A_1}(x^*), \mu_{A_2}(x^{**})), \\ \mu_{A_1 \vee A_2}(x^*, x^{**}) &= \max(\mu_{A_1}(x^*), \mu_{A_2}(x^{**})), \end{aligned}$$

где $\mu_{A_1}(x)$, $\mu_{A_2}(x)$ – функции принадлежности термов A_1 и A_2 лингвистических переменных РОФ; x^* , x^{**} – значения входных переменных РОФ, $x^* \in X$, $x^{**} \in X$; X – универсальное множество для нечетких множеств термов A_1 и A_2 .

Нечеткая операция «ПРИОРИТЕТНОЕ И» ($\wedge_{\text{пр}}$) используется когда в текущем времени необходимо учитывать не только влияние РОФ на техногенный риск, но и влияние одного РОФ на другой. Степень истинности простого нечеткого высказывания справа от операции изменяется в зависимости от значения истинности простого нечеткого высказывания слева. Реализация нечеткой операции «ПРИОРИТЕТНОЕ И» имеет вид:

$$\mu_{A_1 \wedge_{\text{пр}} A_2}(x^*, x^{**}) = \begin{cases} \min(\mu_{A_2}(x^{**})^2, \mu_{A_1}(x^*)), & \text{если } \mu_{A_1}(x^*) < 0,5 \\ \min(\mu_{A_2}(x^{**})^{0,5}, \mu_{A_1}(x^*)), & \text{если } \mu_{A_1}(x^*) \geq 0,5 \end{cases},$$

где $\mu_{A_1}(x)$, $\mu_{A_2}(x)$ – функции принадлежности термов A_1 и A_2 лингвистических переменных РОФ; x^* , x^{**} – значения входных переменных РОФ, $x^* \in X$, $x^{**} \in X$; X – универсальное множество для нечетких множеств термов A_1 и A_2 .

Терм левого операнда операции «ПРИОРИТЕТНОЕ И» может формироваться с использованием операций «всегда в прошлом» или «иногда в прошлом», тогда операция «ПРИОРИТЕТНОЕ И» будет иметь темпоральный характер, так как изменяет функцию принадлежности терма правого операнда в настоящем времени в зависимости от прошлых значений левого операнда.

Операция «BEFORE» похожа на операцию «ПРИОРИТЕТНОЕ И», но учитывает только лишь воздействие левого операнда на правый, без учета прямого влияния левого операнда на техногенный риск:

$$\mu_{A_1 \text{ before } A_2}(x^*, x^{**}) = \begin{cases} \mu_{A_2}(x^{**})^2, & \text{если } \mu_{A_1}(x^*) < 0,5 \\ \mu_{A_2}(x^{**})^{0,5}, & \text{если } \mu_{A_1}(x^*) \geq 0,5 \end{cases},$$

где $\mu_{A_1}(x)$, $\mu_{A_2}(x)$ – функции принадлежности термов A_1 и A_2 лингвистических переменных РОФ; x^* , x^{**} – значения входных переменных РОФ, $x^* \in X$, $x^{**} \in X$; X – универсальное множество для нечетких множеств термов A_1 и A_2 .

На основе предлагаемой математической модели оценки техногенных рисков электроустановок АПК с использованием темпоральных зависимостей между рискообразующими факторами разработано программное обеспечение. Экспериментальные результаты исследований с использованием разработанного программного обеспечения показали, что оценивание техногенной опасности производственного объекта является более адекватным по сравнению с известными методиками оценки рисков электроустановок без учета темпорального компонента.

Литература: 1. Теория и практика управления техногенными рисками: учебное пособие / О.К. Никольский [и др.], под общ. ред. Залуженного деятеля науки и техники России, докт. техн. наук, О.К. Никольского. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015 – 219 с. 2. Смолянинов А. Ю., Тушев А. Н., Никольский О. К. Метод оценки технического состояния электроустановок производственных объектов // Электробезопасность. 2016. №1. – С. 42-47 3. Качесова Л. Ю., Тушев А. Н. О возможности использования темпоральной логики в интеллектуальной системе поддержки принятия

решений по управлению техногенными рисками опасности электроустановок// Ползуновский альманах. 2016. №2. – С. 151-153 4. Никольский О.К., Качесова Л.Ю. Экспертная система оценки риска аварии в системе электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса // Достижения науки – агропромышленному комплексу: материалы LVII Международной научно – практической конференции. – Челябинск: ИПЦ Южно-Уральского ГАУ, 2018 – С. 64-71 5. Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурьев Г. В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. - М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

Реквизиты для справок: *Россия, 656038, Барнаул, ул. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, ст.преподавателю, Качесовой Л.Ю., тел. 89069671271. E-mail: kachesova_l_u@mail.ru*

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОАГУЛЯЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ТОНКОМ СЛОЕ

**В.Н. ХМЕЛЕВ, А.В. ШАЛУНОВ, С.С. ЗОРИН, Е.В. ИЛЬЧЕНКО,
В.А. НЕСТЕРОВ, Д.В. ГЕННЕ**

Несмотря на доказанную эффективность применения аэрозолей различных веществ во многих отраслях промышленности и медицины, их неконтролируемое нахождение в воздушной среде приводит к крайне негативным воздействиям на человека, окружающий животный и растительный мир. Так, проведенные эпидемиологические исследования показали наличие четкой связи между уровнем загрязнения атмосферы тонкодисперсными аэрозолями небиологического происхождения и заболеваемостью, а также смертностью людей [1]. Все это обуславливает крайнюю важность поиска путей защиты воздушного бассейна от тонкодисперсных аэрозолей природного и техногенного происхождения.

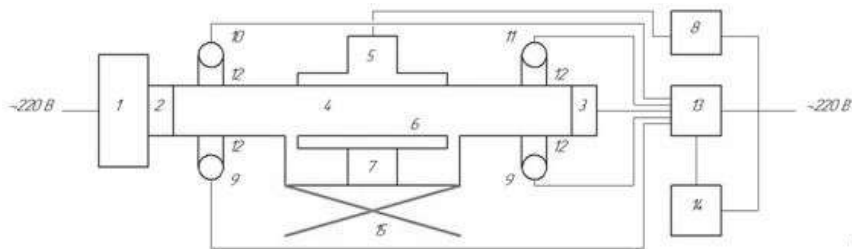
Перспективным способом удаления дисперсных частиц из газовых сред является их коагуляция под действием ультразвуковых (УЗ) колебаний с последующим осаждением [2, 3, 6]. При этом, УЗ воздействие целесообразно осуществлять в тонком слое между излучателем и отражателем, в котором создаются условия для возникновения резонансных явлений и акустических микровихрей, способствующих осаждению дисперсных частиц.

Целью работы является определение принципиальной возможности осуществления коагуляции высокодисперсных примесей в газовых средах посредством воздействия акустического поля ультразвуковой частоты в тонком слое. Так же в ходе работы предполагалось выявление оптимального расстояния между рабочим инструментом ультразвуковой ко-

лебательной системы и отражателем, соответствующего наилучшему процессу коагуляции высокодисперсной примеси (в примере, холодной водопроводной воды).

Для экспериментального исследования УЗ коагуляции в тонких слоях был разработан измерительный стенд. В качестве источника УЗ колебаний использовался ультразвуковой аппарат УЗАГС-0,6/18-О «Соловей», позволяющий создать уровень звукового давления в резонансной камере не менее 140 дБ при частоте УЗКС 22 кГц [2, 4]. Структурная схема разработанного стенда представлена на рис. 1.

При проведении исследований производилось плавное изменение расстояния между излучателем 5 и подвижным отражателем 6. Высота резонансной камеры изменялась от 1 мм до 36 мм включительно. При этом фиксировались изменение уровня звукового давления (при помощи шумомера Ассистент) и соответствующее ему изменение концентрации аэрозоля на выходе резонансной камеры [4, 5].



- 1 – ультразвуковой увлажнитель воздуха; 2 – гибкий патрубок; 3 – вентилятор;
4 – резонансная камера; 5 – ультразвуковая колебательная система (УЗКС);
6 – подвижный отражатель; 7 – механизм движения отражателя; 8 – УЗГ;
9 – инфракрасные светодиоды; 10, 11 – инфракрасные фотодиоды соответственно
входного и выходного каналов; 12 – защитные патрубки; 13 – измерительное
устройство; 14 – персональный компьютер (ПК); 15 – опорная рама

Рисунок 1 – Блок-схема лабораторного стенда

Измерение концентрации аэрозоля на входе и на выходе резонансной камеры осуществлялось оптическим методом. Измеритель концентрации аэрозоля включает в себя четырехканальную оптическую систему, представленную парой светодиод-фотодиод, работающих в инфракрасном диапазоне, и включающей усилительный каскад и микроконтроллер серии AVR. Оцифрованный сигнал передавался на ПК для дальнейшей обработки.

Для создания тестового аэрозоля применялся бытовой увлажнитель воздуха Redmond ES. Измерение мощности, потребляемой УЗ излучателем из электрической сети, осуществлялось при помощи ваттметра РМ15.

Зависимость уровня звукового давления от расстояния между излучателем и отражателем приведена на рис. 2, а соответствующее ей потребление электрической мощности – на рис. 3.

A, дБ

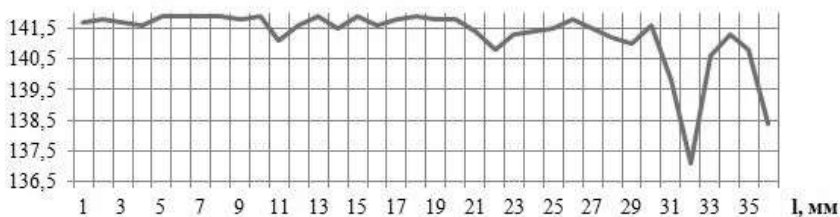


Рисунок 2 – График зависимости звукового давления в камере от расстояния между УЗКС и отражателем

P, Вт

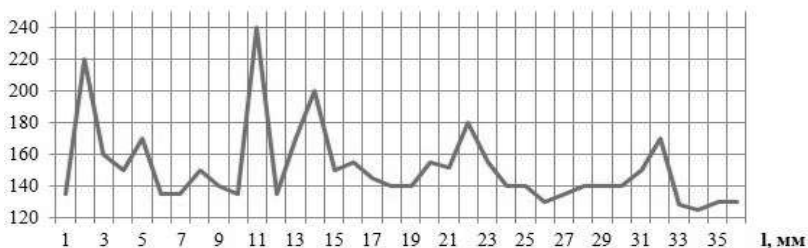


Рисунок 3 – График зависимости потребляемой из сети переменного тока мощности от расстояния между УЗКС и отражателем

Полученные данные свидетельствуют о наличии контрольных точек с высоким энергопотреблением на фоне стабильно высокого звукового давления (более 141 дБ). Предполагается, что именно на этих расстояниях должна наблюдаться максимальная коагуляционная активность.

Во время всех серий измерений (рис. 2 и 3) наблюдалось устойчивое отклонение рабочего режима УЗКС (падение акустического давления на фоне роста энергопотребления) в одной и той же контрольной точке, соответствующей зазору между УЗКС и отражателем, равному 32 мм. На таком расстоянии падающая и отраженная волна оказываются в противофазе и компенсируют друг друга.

Для исследования динамики коагуляционного процесса в резонансной камере после заполнения ее туманом подавалось питание на УЗКС и фиксировалось значение выходного параметра. Затем отражатель смещался на следующую контрольную точку, и процесс повторялся снова.

В ходе выполнения данного измерения получены экспериментальные данные, представленные на рис. 4 в относительных единицах δ (доля от максимального сигнала выходного датчика в отсутствие тумана).

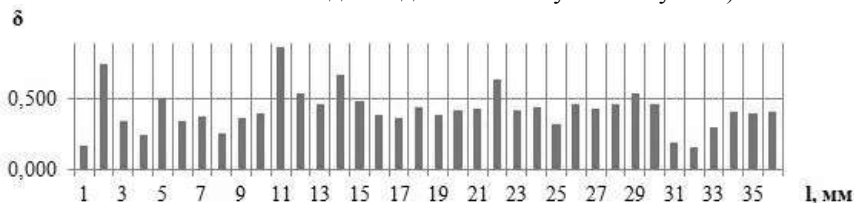


Рисунок 4 – График зависимости интенсивности процесса коагуляции тумана от расстояния между УЗКС и отражателем

При рассмотрении гистограмм на рис. 4 очевидно присутствие явно выраженных пиков в динамике процесса коагуляции тумана при ультразвуковом воздействии. Это позволило определиться с конкретным расстоянием между рабочей поверхностью УЗКС и отражателем, на котором исследуемый процесс имеет ожидаемо большую интенсивность.

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что основная цель исследования достигнута, а именно, доказана возможность интенсификации коагуляции высокодисперсных частиц посредством применения ультразвука (вне ультразвукового поля выходной показатель измерительного устройства равен $\delta=0.0117$, что примерно в 74.5 раза меньше наилучшего показателя при его наличии). Также на данном этапе представилось возможным установить оптимальные расстояния между колебательной системой и отражателем, позволяющие достичь максимума коагуляционной активности: 2, 5, 11, 14 и 22 мм.

Направлением дальнейшего развития настоящего исследования является разработка принципиально нового вида УЗКС в виде системы перпендикулярных общему основанию пластин излучателей, чередующихся в установке-стенде с пластинами отражателей, с аналогичной рассмотренной ранее продувкой через эту систему очищаемого воздуха. Одним из основных требований в отношении такой УЗКС будет работа на более высоких резонансных частотах от 50 до 60 кГц при, возможно, более компактных размерах.

Литература. 1. Halonen, J., Lanki, T., Yli-Tuomi, T., Tiittanen, P., Kulmala, M., Pekkanen, J. Particulate air pollution and acute cardiorespiratory hospital admissions and mortality among the elderly // American Journal of Epidemiology. – 2009. – 20 (1). – P. 143–153. 2. Khmelev V.N. et al. Ultrasonic radiators for the action on gaseous media at high temperatures // EDM 2015: Conference Proceedings / Khmelev V.N. et al. – Novosibirsk: NSTU, 2015. – P. 224–228. 3. Хмелев В.Н. и др. Создание высокоэффективного

газоочистного оборудования для промышленных производств с применением ультразвуковых колебаний высокой интенсивности / В.Н. Хмелев и др. – Барнаул: Вестник алтайской науки. – 2015. – № 2. – С. 17–25. **4.** Хмелев В.Н. и др. Определение эффективности ультразвуковых дисковых излучателей при работе в газовых средах // Международной научнотехнической конференции ИКИ ХУП / В.Н. Хмелев и др. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2016. – С. 91-94. **5.** Хмелев В.Н. и др. Измерение акустической мощности, вводимой в газовую среду ультразвуковыми излучателями дискового типа / В.Н. Хмелев и др. - Датчики и системы. - 2016. - № 5. - С. 3-11. **6.** Хмелев В.Н. и др. Повышение эффективности процесса коагуляции субмикронных частиц ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности / В.Н. Хмелев и др. – Барнаул: Вестник алтайской науки. – 2015. – № 1. – С. 298–308.

Реквизиты для справок: Россия, 659305, Бийск, ул. Трофимова 27, Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ, доктору технических наук, профессору, Шалунову А.В., тел. (3854) 43-25-71. E-mail: shalunov@bti.secna.ru.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛИНОЙ ОЧЕРЕДИ ПАКЕТОВ В БУФЕРЕ МАРШРУТИЗАТОРА

Е.А. ПЕРЕПЕЛКИН, Р.А. ЗАРЕЧНЕВ

В работе [1] описан метод синтеза ПИД-регулятора для системы управления длиной очереди пакетов в буфере маршрутизатора сети передачи данных, работающей по протоколу TCP NewReno. В данной статье аналогичный метод применяется для протокола TCP Westwood.

Состояние маршрутизатора сети передачи данных, работающей по протоколу TCP Westwood, определяется размером TCP-окна $W(t)$ и длиной очереди пакетов $q(t)$ в буфере маршрутизатора [2]. Управление потоком пакетов осуществляется отбрасыванием пакетов с вероятностью $p(t)$. Задача управления потоком пакетов заключается в поддержании заданной длины очереди пакетов в буфере маршрутизатора.

Нелинейная модель TCP Westwood с учетом запаздываний по состоянию и управлению имеет следующий вид [2]

$$W(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{R(t-R(t))} p(t-R(t)) + \\ + T_p \left(\frac{W(t-R(t))}{R(t-R(t))} \right)^2 p(t-R(t)),$$

$$q(t) = \frac{W(t)}{R(t)}N - C, \quad R(t) = T_p + \frac{q(t)}{C},$$

где $R(t)$ – время между отправкой пакета и подтверждением о получении пакета, T_p – время прохождения сигнала по линии связи, N – количество потоков пакетов, C – пропускная способность канала передачи данных.

Обозначим через q – заданное значение длины очереди пакетов. Соответствующие значения TCP-окна W и сигнала управления $\bar{p}$ находятся из соотношений положения равновесия

$$\frac{1}{R} - \frac{W^2}{R}p + T_p \frac{W^2}{R^2}p = 0, \quad \frac{W}{R}N - C = 0, \quad R = T_p + \frac{q}{C}.$$

Линеаризованная модель TCP Westwood, описывающая поведение объекта управления в окрестности положения равновесия, может быть представлена передаточной функцией [2]:

$$g_1(s) = \frac{b}{a(s)} e^{-s\bar{R}},$$

где

$$b = -\frac{Cq}{NR}, \quad a(s) = s^2 + a_1s + a_2, \\ a_1 = \frac{1}{R} + \frac{2N}{CR^2}, \quad a_2 = \frac{N}{CR^3} \left(\frac{CR}{q} + 1 \right).$$

Для решения задачи управления длиной очереди можно применить ПИД-регулятор. Передаточная функция ПИД-регулятора

$$g_2(s) = \frac{k(s)}{s}, \quad k(s) = k_i + k_p s + k_d s^2$$

содержит три коэффициента k_p , k_i , k_d соответственно при пропорциональной, интегральной и дифференцирующей составляющей управления. Значения этих коэффициентов должны быть найдены из условия асимптотической устойчивости замкнутой системы, передаточная функция которой имеет следующий вид

$$g_3(s) = \frac{b}{a(s)s + bk(s)} e^{-s\bar{R}}.$$

Для асимптотической устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы все полюсы замкнутой системы имели отрицательные действительные части [3]. Рассмотрим задачу о размещении полюсов замкнутой системы в левой части комплексной плоскости. Применим

метод, основанный на определении критического значения запаздывания [3].

Полюсы замкнутой системы есть корни характеристического квази-полинома

$$c(s) = a(s)s + bk(s)e^{-Rs}. \quad (1)$$

В общем случае у квазиполинома бесконечно много корней. Сначала решим задачу расчета коэффициентов регулятора для системы с характеристическим полиномом

$$d(s) = a(s)s + bk(s). \quad (2)$$

Затем рассмотрим квазиполином

$$h(s) = a(s)s + bk(s)e^{-sL}, \quad L > 0. \quad (3)$$

Найдем критическое значение $L = L_{\max}$, при котором корни квазиполинома (3) пересекают мнимую ось [3]. Если $R < L_{\max}$, то это означает, что корни квазиполинома (1) находятся в левой части комплексной плоскости и система является асимптотически устойчивой.

Решим первую задачу для полинома (2). Зададим параметр $r > 0$ и рассмотрим равенство полиномов

$$a(s)s + bk(s) = (s + r)^3.$$

Приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях s , получим

$$k_p = \frac{3r^2 - a_2}{b}, \quad k_i = \frac{r^3}{b}, \quad k_d = \frac{3r - a_1}{b}.$$

Зафиксируем $r > 0$ и рассмотрим квазиполином (3) при $L > 0$. Предположим, что при некотором значении $L > 0$ корни $h(s)$ пересекают мнимую ось. Это означает, что существует действительное число $w > 0$ такое, что

$$h(jw) = 0, \quad h(-jw) = 0. \quad (4)$$

Из равенств (4) следует, что

$$a(jw)a(-jw)w^2 - b^2k(jw)k(-jw) = 0$$

Или

$$v^3 + (a_1^2 - 2a_2 - (3r - a_1)^2)v^2 + (a_2^2 + 2r^3(3r - a_1) - (3r^2 - a_2)^2)v - r^6 = 0, \quad v = w^2. \quad (5)$$

Предположим, что уравнение (5) имеет одно положительное действительное решение и два отрицательных действительных решения, или одно положительное действительное решение и два комплексно сопряжен-

ных. Тогда, значение $w > 0$, при котором справедливы равенства (4), равно $w = \sqrt{v}$, где v – положительное решение уравнения (5).

Из равенства

$$e^{-jwL} = -\frac{a(jw)jw}{bk(jw)}$$

получим критическое значение L , при котором корни полинома (3) пересекают мнимую ось,

$$L_{\max} = \frac{1}{w} \arccos \operatorname{Re} \left(-\frac{a(jw)jw}{bk(jw)} \right).$$

Сравниваем R и $L_{\max}$. Замкнутая система будет асимптотически устойчивой, если $R < L_{\max}$.

Рассмотрим пример. Пусть $C = 3800$; $N = 100$; $T_p = 0,22$. Заданное значение длины очереди пакетов $q = 200$. При этом $W = 10,36$, $R = 0.27$.

Расчеты и моделирование выполнялись в системе компьютерной математики Scilab с использованием подсистемы компьютерного моделирования Xcos. На рис. 1 показана зависимость $L_{\max}$ от r . При всех указанных значениях $1 \leq r \leq 5$ уравнение (5) имеет только одно действительное положительное решение. Прямая линия на графике обозначает значение R . Таким образом, при $1 \leq r \leq 3,3$ система с регулятором асимптотически устойчива.

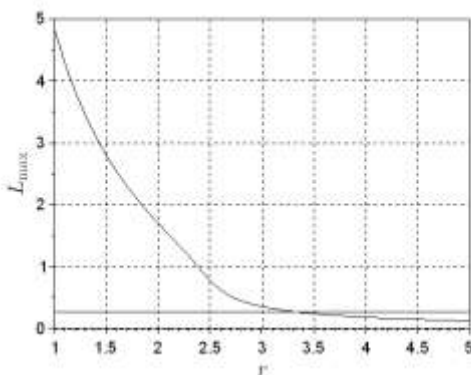


Рисунок 1 – Зависимость $L_{\max}$ от r

На рис. 2 показаны результаты моделирования нелинейной системы с регулятором в контуре управления. Коэффициенты регулятора, равные

$k_p = -3,85 \cdot 10^{-4}$, $k_i = -4,8 \cdot 10^{-5}$, $k_d = -1,13 \cdot 10^{-4}$, были получены при $r = 2,5$.

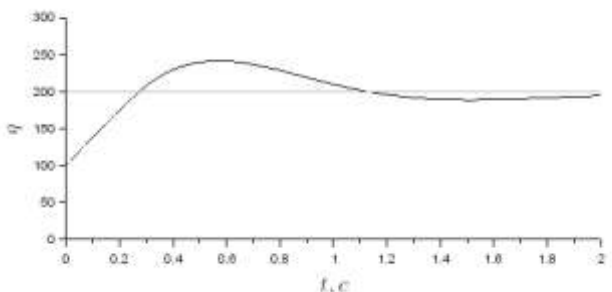


Рисунок 2 – Переходный процесс в системе с регулятором

Литература. 1. Перепелкин Е.А. Модальный синтез системы управления длиной очереди пакетов в буфере маршрутизатора// Информационные технологии и математическое моделирование: Материалы XVI Международной конференции им. А.Ф.Терпугова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2017. – Ч. 1. с. 155-159. **2.** Alvarez T, Heras H, Reguera J. Controller Design for Congestion Control: Some Comparative Studies// Proceedings of the World Congress on Engineering, 2014, Vol II. – London, U.K. – P. 756-772. **3.** Silva G., Datta A., Bhattacharyya S. PID Controllers for Time-Delay Systems. – Birkhauser Boston, 2005.

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доктору технических наук, профессору, Перепелкину Е.А., тел. (385-2) 29-08-68. E-mail: eap@list.ru.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНТРАСТА В ИЗОБРАЖЕНИИ ТЕСТ-ОБЪЕКТА ОТ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ

Е.С. КОНОНОВА, С.П. ПРОНИН

Возрастающие потоки автомобильного транспорта все в больших объемах загрязняют атмосферный воздух городских улиц взвешенными частицами. Взвешенные частицы возникают за счет выхлопных газов, разрушения дорожного покрытия от автошин, стирания тормозных колодок [1,2], поэтому необходим контроль взвешенных частиц в атмосферном воздухе. В статье [3] выполнен обзор современных методов и средств контроля взвешенных частиц и приведен нестандартный перспективный оптический метод измерения массовой концентрации взве-

шенных частиц в атмосферном воздухе по измеренному контрасту в изображении тест-объекта. Так, в статье [4] представлены экспериментальные исследования изменения контраста в изображении тест-объекта в зависимости от изменения концентрации аэрозоля и освещенности. В статье [5] приведены исследования зависимости изменений контраста в изображении двух ИК-светодиодов при прохождении инфракрасного излучения через мелко- и крупнодисперсный дым. Однако выполненные исследования связаны с объемной концентрацией взвешенных частиц.

Цель работы заключается в исследовании изменения контраста в изображении тест-объекта от массовой концентрации взвешенных частиц в лабораторных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо объемную концентрацию перевести в массовую концентрацию. На рис.1а показана экспериментальная установка, которая имеет в своем составе: видеокамеру – 1, вентиляторы -2,4, стеклянную камеру – 3, тест-объект в виде чередующихся темных и светлых штрихов –5, резиновые трубки 6,8, стеклянную банку с полиэтиленовой крышкой –7 и насос 9. Насос, стеклянная банка и резиновые трубки представляют генератор дыма. В качестве источника дыма использовали сигарету с фильтром (мелкодисперсные взвешенные частицы) или папиросу (крупнодисперсные взвешенные частицы), которую помещали в банку 7 и вставляли сигарету или папиросу в выходную резиновую трубку. По трубке дым выходил в стеклянную камеру и рассеивался вентиляторами по объему камеры. Закачка дыма производилась насосом 9. Общий объем стеклянной камеры составляет $49,59 \cdot 10^3 \text{ см}^3$.

Насос имеет объем внутренней полости при вытянутом штоке 152 см^3 . Шток насоса был разбит на 5 равных частей, поэтому на 1 деление приходится объем закачиваемого дыма $30,4 \text{ см}^3$.

Для перевода объемной концентрации в массовую концентрацию был применен гравиметрический метод измерения массовой концентрации дыма, получаемого от разработанного генератора дыма. Для измерения массы использовали электроаспиратор ЭА-2, расположенный на посту Алтайского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Пост показан на рис.1б. В трубу электроаспиратора – 1 генератором дыма с помощью насоса закачивали 15200 см^3 , что соответствовало 100 полным движениям штока. Дым оседал на фильтре, изготовленном из ткани ФПП. Перед отбором проб фильтры взвешивали на аналитических весах ВЛА-200 по ГОСТ 24104-80Е с погрешностью измерения $\pm 0,1 \text{ мг}$. После отбора проб фильтры снова взвешивали и по разнице определяли массу дыма.

В итоге при прокачке насосом генератора 15200 см^3 сигаретного дыма масса составила 2,9 мг, а при прокачке папиросного дыма масса со-

ставила 4,4 мг. Таким образом, на один полный ход штока насоса приходится 0,029 мг сигаретного дыма и 0,044 мг папиросного дыма.

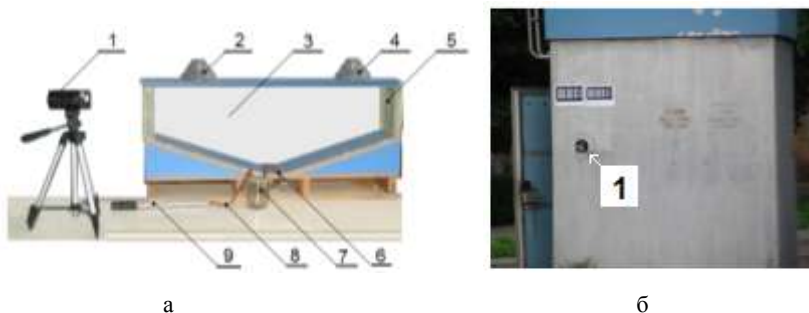


Рисунок 1 – Экспериментальная установка (а); пост Алтайского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (б)

В статье [5] были выполнены исследования изменения контраста в изображении двух светодиодов в зависимости от объемной концентрации дыма. Выполнив калибровку лабораторного генератора дыма полученный результат можно представить как зависимость изменения контраста от массовой концентрации. Поскольку стеклянная камера лабораторной установки имеет объем $49,59 \cdot 10^3 \text{ см}^3$, то при полном ходе штока в стеклянную камеру закачивается 0,029 мг сигаретного дыма. В пересчете на 1 м^3 полный ход штока соответствует массовой концентрации $0,58 \text{ мг/м}^3$. На рис.2 показана зависимость изменения контраста в изображении тест-объекта от массовой концентрации мелкодисперсного (сигаретного) дыма.

В качестве тест-объекта использованы два ИК-светодиода [5]. На рис.3 представлена аналогичная зависимость, но при использовании тест-объекта в виде парных штрихов и внешнем искусственном освещении [4].

Выполненная калибровка генератора дыма экспериментальной установки позволяет определить потенциальные возможности использования метода контроля взвешенных частиц в атмосферном воздухе по оптическому контрасту в изображении тест-объекта.

Как видно из представленных графиков, наибольшей чувствительностью изменения контраста от массовой концентрации обладает схема, использующая искусственное освещение по сравнению с применением ИК-светодиодов. Судя по графику, показанному на рис.3, лабораторная установка способна достоверно обеспечить измерение массовой концен-

трации по оптическому контрасту $0,3 \text{ мг/м}^3$. Поскольку ПДК для взвешенных частиц составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$, то предлагаемое средство не обеспечивает необходимой точности. Причиной является небольшое расстояние между тест-объектом и фотоприемником – всего 98 см. Увеличивая это расстояние, можно на порядок уменьшить минимальное значение массовой концентрации.

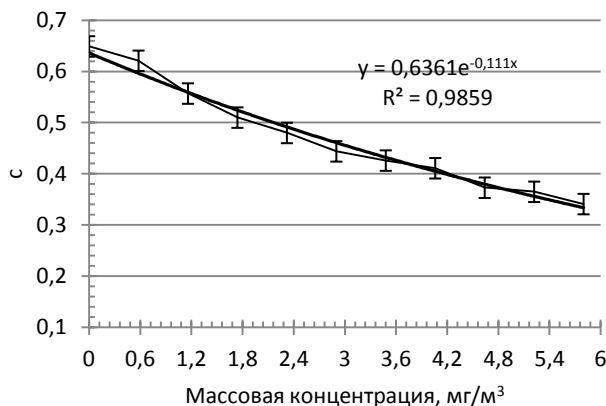


Рисунок 2 – Зависимость изменения контраста в изображении тест-объекта от массовой концентрации мелкодисперсного дыма при использовании двух ИК-светодиодов в качестве тест-объекта

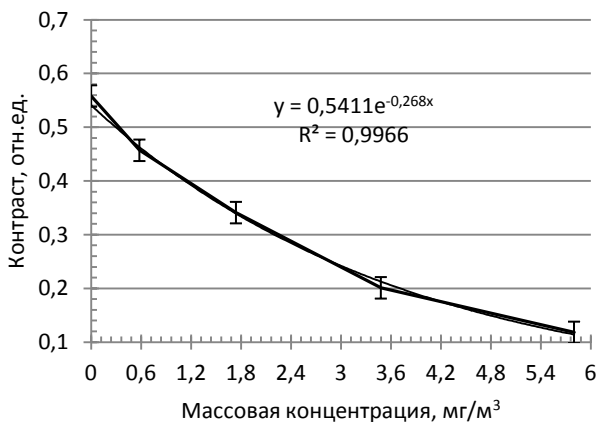


Рисунок 3 – Зависимость изменения контраста в изображении тест-объекта от массовой концентрации мелкодисперсного при использовании тест-объекта в виде парных штрихов и внешнем искусственном освещении

Литература. 1. Графкина М.В. К вопросу контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух при движении автомобильного транспорта / М.В. Графкина, А.В. Азаров, Д.Р. Добринский, Д.А. Николенко // Вестник МГСУ. – 2017. –Том12, Выпуск 4(103). – С. 373- 380. 2. Чицова В.С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путем снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее десяти микрон.// Автореф. дис. канд. техн. наук по специальности 05.22.10. – Москва, 2016. – 19 с. 3. Кононова Е.С., Пронин С.П. Обзор современных технических средств измерения и контроля взвешенных частиц в атмосферном воздухе // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. №4.Т3.–С.77 –80. 4. Пронин С.П., Мустафаев А.А., Кононова Е.С. Экспериментальные исследования изменения контраста в изображении тест-объекта в зависимости от изменения концентрации аэрозоля и освещенности // Измерение, контроль, информатизация: Материалы 11-ой Международ. НТК «ИКИ-2010». –Барнаул: АлтГТУ,2010.- С.89– 92. 5. Пинус А.А. Пронин С.П. Кононова Е.С. Исследование зависимости изменений контраста в изображении двух ИК-светодиодов при прохождении инфракрасного излучения через мелко- и крупнодисперсный дым // Экологические системы и приборы, 2014.–№9. – С. 9-14.

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

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК – ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА-СРЕДА» НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ

А.Н. ТУШЕВ, Л.Ю. КАЧЕСОВА, И.В. ЮРЧЕНКОВА

В современном мире наблюдается активное применение электроустановок различного назначения, в результате чего возрастает роль превентивных мер электрозащиты. Однако, несмотря на их осуществление, сохраняется достаточно высокий уровень техногенных угроз [1-2]. Следовательно, для предотвращения различного рода опасности при работе с электроустановками необходимо выполнять оценку риска.

Для оценки рисков системы «Человек-Электроустановка-Среда» было реализовано программное обеспечение, позволяющее вычислять риск техногенных опасностей посредством нейро-нечеткой сети Ванга - Менделя. Сеть Ванга-Менделя представляет собой четырехслойную структу-

ру, в которой первый слой выполняет фаззификацию входных данных, второй – агрегирование значений активации условия нечеткого правила вывода, третий (линейный) – агрегирование N правил вывода (первый нейрон) и генерацию нормализующего сигнала (второй нейрон). Состоящий из одного нейрона выходной слой осуществляет нормализацию, формируя выходной сигнал $y(x)$. Только первый и третий слои являются параметрическими. В первом слое это параметры функции фаззификации (центр, ширина и кривизна обобщенной функции Гаусса), а в третьем слое – веса, которые можно интерпретировать как центр функции принадлежности следствия в нечетких правилах вывода [2].

Рассмотрим структуру нейронной нечеткой сети сформированной для оценки техногенной опасности электротравмы. Структура нечеткой нейронной сети строится на базе правил, которая формируется группой экспертов, компетентных в области электробезопасности. База знаний будет включать правила вида:

Правило 1: Если «Степень износа токоведущих частей» это «Средняя» И «Диагностика технического состояния ЭУ» это «Неудовлетворительная» И ... И «Срок эксплуатации ЭУ» это «Большой» ТО «Риск электротравма» = 0,0001 (Допустимый);

Правило 2: Если «Уровень профессионализма» это «Высокий» И «Навыки выполнения работ» это «Хорошие» И «Уровень деструктивных воздействий параметров микроклимата» это «Низкий» И ... И «Степень износа изоляционных частей ЭУ» это «Средняя» ТО «Риск электротравма» = 0,00000001 (Пренебрежительный);

Правило 3: Если «Степень износа изоляционных частей ЭУ» это «Высокий» Ипр «Отказ технологического электрооборудования» это «Частые» ИЛИ «Физическое состояние» это «Плохое» Ипр «Ошибки в оперативных решениях» это «Часто» И ... И «Срок эксплуатации ЭУ» это «Высокий» ТО «Риск электротравма» = 0,000001 (Приемлемый);

Правило 4: Если «Степень износа изоляционных частей ЭУ» это «Высокий» И «Психологические показатели» это «Плохие» ИЛИ «Физическое состояние» это «Плохое» И «Ошибки в оперативных решениях» это «Часто» И ... И «Состояние условий труда» это «Удовлетворительное» ТО «Риск электротравма» = 0,001 (Не приемлемый);

Правило n: Если «Уровень деструктивных воздействий параметров микроклимата» это «Высокий» И «Отказ технологического электрооборудования» это «Частые» И «Навыки выполнения работ» это «Плохие» И «Срок эксплуатации ЭУ» это «Большой» И ... И «Степень износа токоведущих частей ЭУ» это «Высокая» ТО «Риск электротравма» = 0,1 (Катастрофический).

Таким образом, структура сети будет иметь общий вид, представленный на рис. 1.

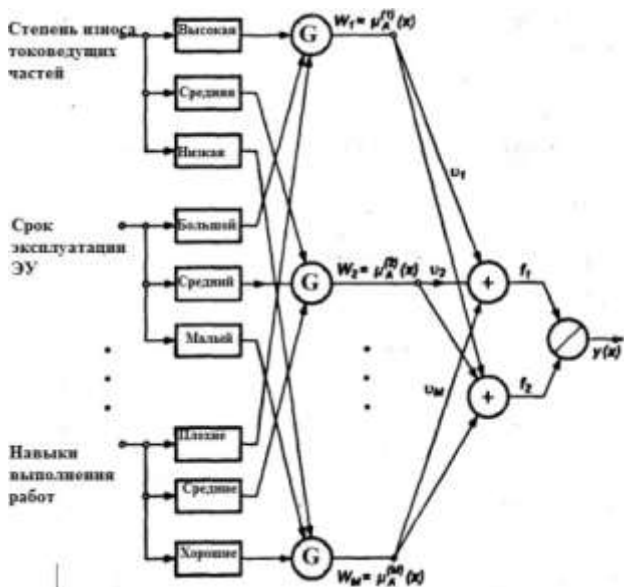


Рисунок 1 – Структура нечеткой нейронной сети

Каждый фактор риска (например, степень износа токоведущих частей) имеет терм-множество (для лингвистической переменной «Степень износа токоведущих частей» это «Высокая», «Средняя», «Низкая»), каждый терм задается функцией принадлежности $\mu_A(x_i)$ (в работе используется функция Гаусса). На выходе получаем оцениваемый риск опасности (электротравма).

Для получения значения риска опасности изначально в программе задаются рискообразующие факторы и их терм-множества (рис. 2).

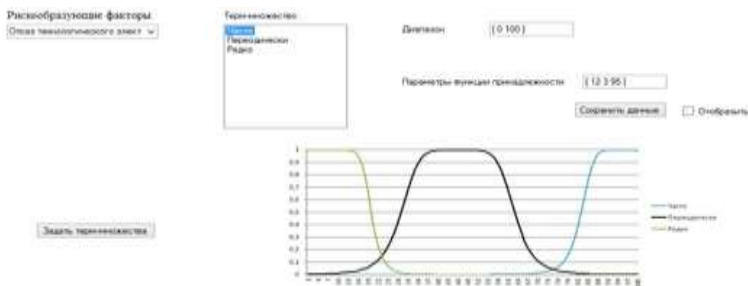


Рисунок 2 – Создание рискообразующих факторов

На этапе формирования правил выбираются лингвистические переменные (рискообразующие факторы) и их значения из терм-множества, которые были заданы в программе на предыдущем шаге. Задание правила представлено на рис. 3.



Рисунок 3 – Создание базы правил

Для обучения нечеткой нейронной сети группа экспертов, компетентных в области электробезопасности, формируют обучающую выборку (адекватность данных обеспечивается за счет коэффициента конкордации). На рис. 4 представлено формирование обучающей выборки.



Рисунок 4 – Формирование обучающей выборки

По полученной обучающей выборке производится обучение нечеткой нейронной сети Ванга-Менделя. Для обучения применяется гибридный алгоритм обучения, при котором линейные параметры заключений правил настраиваются при прямом распространении сигнала, а параметры функций принадлежности предпосылок правил при обратном распространении сигнала. При прямом распространении сигнала параметры заключений правил идентифицируются с помощью метода наименьших квадратов или путем псевдоинверсии матрицы. При обратном распространении сигнал ошибки передается в обратном направлении и параметры предпосылок правил обновляются с помощью модифицированного алгоритма Ливенберга-Марквардта [5]. Модификация заключается в выполнении дополнительных шагов по поверхности функции ошибки в

случайном направлении с нарастающей величиной шага. После нескольких попыток выбирается наименьший из найденных минимумов, таким способом производится выход из локального минимума.

После обучения нечеткой нейронной сети предоставляется возможность получить значение конкретного риска. Таким образом, для вычисления риска опасности эксперт заполняет четкие числовые значения для всех термов правил, после чего получает конкретное значение.

На выходе нечеткой нейронной сети получаем численное значение риска, на основе которого экспертом осуществляется оценка рисков техногенных опасностей.

Результаты исследований на основе разработанного программного обеспечения показали, что оценка техногенных рисков системы «человек – электроустановка-среда», выполненная на основе модифицированной нечеткой нейронной сети Ванга – Менделя с использованием нечетких операций и операции приоритетное и, применяемых к рискообразующим факторам, дает более точный способ расчета рисков техногенных опасностей по сравнению с существующими методиками оценки рисков без использования нейронных нечетких сетей.

Литература. 1. Никольский, О.К. Проблема неопределенности при анализе рисков электроустановок: статья / А.Ф. Костюков, О.К. Никольский, Н.И. Черкасова // Вестник ИрГСХА: - выпуск 64. - ноябрь 2014. Иркутск. - С. 106 - 109. 2. Никольский О.К., Качесова Л.Ю. Экспертная система оценки риска аварии в системе электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса // Достижения науки – агропромышленному комплексу: материалы LVII Международной научно – практической конференции. – Челябинск: ИПЦ Южно-Уральского ГАУ, 2018 – С. 64-71 3. Осовский С., Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с. 4. Хайкин С. Нейронный сети: полный курс, 2-е изд.: Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с. 5. Муравьев В.В., Лёзин И.А. Анализ эффективности алгоритмов обучения нечеткой нейронной сети Ванга-Менделя //Перспективные информационные технологии (ПИТ 2016): труды Международной научно-технической конференции /под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2016. – 1052 с. – С. 128-131.

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, ул. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, ст.преподавателю, Качесовой Л.Ю., тел. 89069671271. E-mail: kachesova_l_u@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ЯРКОСТИ РАССЕЯННОГО СВЕТА ОТ ПОВЕРХНОСТИ ЗАМОРОЖЕННОЙ КАПЛИ, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ

М.А. МЯСНИКОВ, С.П. ПРОНИН

На сегодняшний день во многих отраслях промышленности широко используются мелкодисперсные частицы. Они стали неотъемлемой частью современного производства композиционных материалов, медицинских препаратов, химических веществ. Одной из производственных задач является контроль размеров мелкодисперсных частиц в водной среде, например, частиц технического алмаза [1].

Для калибровки и исследований используют нанодисперсные частицы с известными размерами. Таковыми могут служить монодисперсный латекс, изготавливаемый, например, в ВНИИМ им. Менделеева.

По параметрам рассеянного света можно определить размеры нанодисперсных частиц. Однако на рассеивание света оказывают влияние не только размеры частиц, но и концентрации этих частиц в водной среде и способы освещения исследуемой среды с нанодисперсными частицами.

Также исследуемая водная среда, содержащая нанодисперсные частицы, подвергалась заморозке, поскольку все предыдущие исследования по данной тематике проводились для водной среды в жидком состоянии.

Целью работы является исследование зависимости средних значений яркости рассеянного света от поверхности замороженной капли, содержащей наночастицы различного диаметра, их концентрации в водной среде и способа освещения исследуемой капли.

В ходе выполнения работ было проведено три серии экспериментов с разными способами освещения: 1—осветитель в виде одного светодиода, установленного на расстоянии 30 см от поверхности замороженной капли; 2— осветитель в виде одного светодиода, установленного на расстоянии 20 см от поверхности замороженной капли; 3— осветитель в виде двух светодиодов, установленных на расстоянии 10 см с разных сторон от поверхности замороженной капли.

В качестве водной среды использовали дистиллированную воду. Предварительно она подвергалась дегазации путём трёхкратного кипячения. К 15 мл дистиллированной воды добавляли по 0,05 мл монодисперсного латекса, который имел размеры 50 нм и 100 нм.

На графиках по оси абсцисс указаны концентрации монодисперсного латекса в 15 мл дистиллированной воды. По оси ординат – значение яркости в ед. АЦП. Как видно из рис. 1, оба графика начинаются практически в одной общей точке.

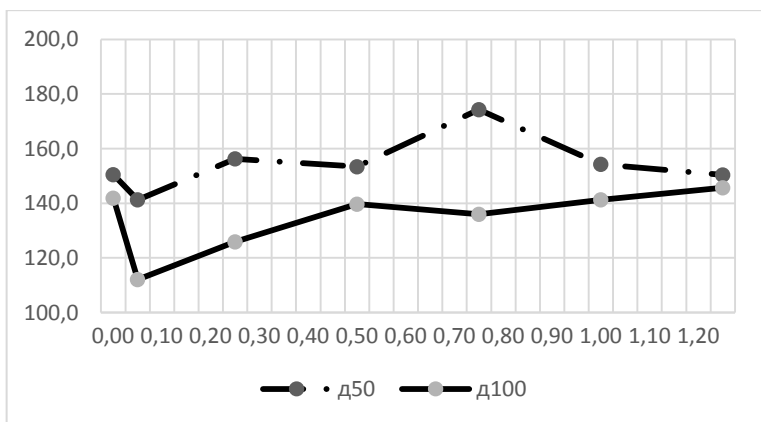


Рисунок 1 – Графики яркости рассеянного от поверхности замороженной капли при первом способе освещения

Эта точка соответствует дистиллированной воде. При этом график средних значений яркости рассеянного света при размере частиц монодисперсного латекса 50 нм расположен выше, чем при 100 нм. При объеме монодисперсного латекса 0,05 мл средние значения яркостей резко падают. На обоих графиках эта точка соответствует минимальным значениям яркости. В соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера, есть высокая вероятность, что причиной резкого падения является существенное увеличение показателя ослабления исследуемого раствора [2]. Более высокий показатель ослабления наблюдается у нанодисперсных частиц большего диаметра, т.е. 100 нм. При дальнейшем увеличении концентрации монодисперсного латекса с различными размерами яркость рассеянного света возрастает. В конечном итоге при концентрации 1,25 мл латексов на 15 мл дистиллированной воды графики сходятся практически в одну точку, т.е. средние значения яркостей практически равны, независимо от диаметра наночастиц.

При проведении второй серии экспериментов было решено не увеличивать концентрацию больше 0,45 мл монодисперсного латекса на 15 мл дистиллированной воды и повышать концентрацию с меньшим шагом по сравнению с первой серией опытов.

Как видно из рис. 2, средние значения яркости рассеянного света увеличились, так как освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника освещения [3]. В данном способе формирования светового потока расстояние меньше, чем в первом случае, на 10 см и составляет 20 см. Также из графиков видно, что с увеличением концентрации монодисперсного латекса в растворах средние значения яркостей

снижаются. Однако сохраняется зависимость среднего значения яркости от размера наночастиц, т.е. среднее значение яркости рассеянного света от поверхности замороженной капли раствора, содержащего наночастицы со средним диаметром 50 нм, выше, чем от замороженной капли раствора наночастиц со средним диаметром 100 нм.

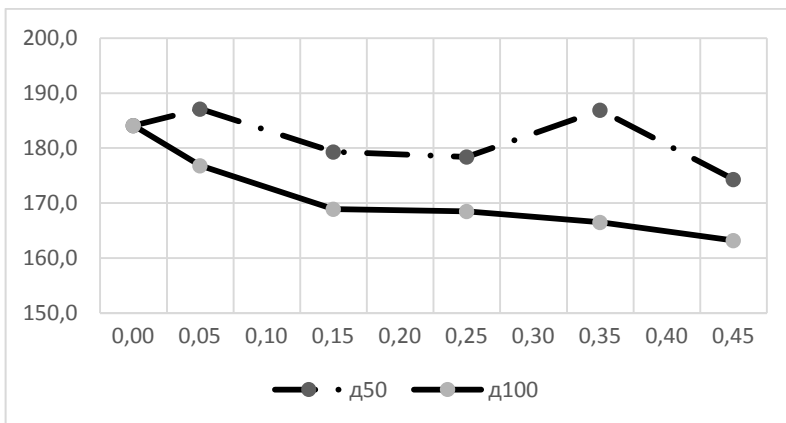


Рисунок 2 – Графики яркости рассеянного от поверхности замороженной капли при втором способе освещения

При данном способе формирования светового потока создаются условия, максимально приближенные к закону Бугера [4], а также сохраняются отличительные особенности изменения среднего значения яркости рассеянного света для растворов наночастиц диаметром 50 нм и 100 нм.

При проведении третьей серии экспериментов было решено снизить максимальную концентрацию моодисперсного латекса в растворе до 0,35 мл на 15 мл дистиллированной воды и повышать её с шагом 0,05 мл.

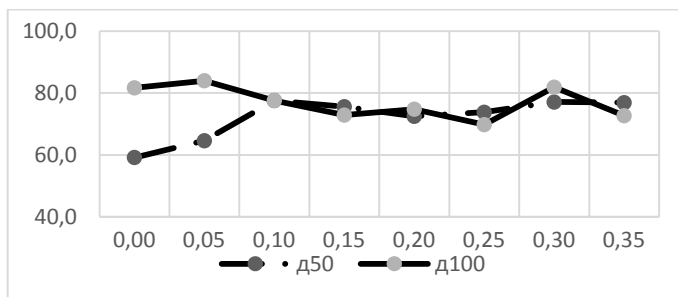


Рисунок 3 – Графики яркости рассеянного от поверхности замороженной капли при третьем способе освещения

Поскольку при данном способе формирования светового потока используется 2 светодиода на расстоянии 10 см от поверхности замороженной капли, пришлось практически полностью закрывать диафрагму объектива микроскопа, уменьшая освещённость. Как видно из рис. 3, яркости рассеянного света от поверхности капли дистиллированной воды значительно отличаются друг от друга. При концентрации монодисперсного латекса в растворе 0,10 мл на 15 мл дистиллированной воды и дальнейшем её увеличении графики практически совпадают. Это говорит о том, что подобное освещение не обладает той же стабильностью, что при первом и втором способах. Также при данном освещении не наблюдаются отличительные особенности изменения среднего значения яркости рассеянного света для растворов наночастиц диаметром 50 нм и 100 нм, характерные для других способов освещения.

Так же, как и во второй серии опытов, были получены средние значения яркости рассеянного света от поверхностей тех же капель, но до заморозки. Полученные графики представлены на рис. 4.

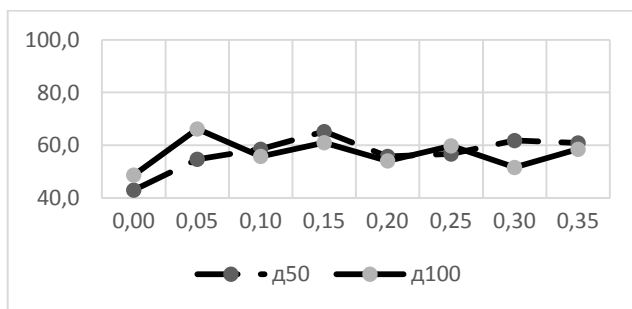


Рисунок 4 – Графики яркости рассеянного от поверхности незамерзшей капли при третьем способе формирования светового потока

Как видно из рис. 4, средние значения яркости ниже, чем во всех предыдущих случаях. Однако при концентрации монодисперсного латекса в растворе до 0,10 мл на 15 мл дистиллированной воды сохраняется зависимость яркости от размера наночастиц, показанная на рис. 3.

Таким образом, оптимальным вариантом формирования светового потока является использование одного светодиода на фиксированном расстоянии ~20 см от поверхности замороженной капли. Вся система не защищена от внешних источников освещения, таких как Солнце, освещение помещения, что тоже вносит нестабильность в эксперименты.

Литература. 1. Кальной, Д.Г. Контроль размеров мелкодисперсных частиц в жидкой среде по контрасту изображения тест-объекта [Текст]:

автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.11.13) / Кальной Денис Геннадьевич; АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2011. – 17 с.
2. Уэйн Р. Основы и применения фотохимии. — М.: Мир, 1991. — 304 с.
3. Гуревич М. М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. — 2-е изд. — Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. — 272 с. 4. Сапожников Р. А. Теоретическая фотометрия [Текст] : Основы расчета освещения. - Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1960. - 176 с. : ил.; 22 см.

Реквизиты для справок: *Россия, 656039, Барнаул, ул. Советской Армии 121а, Мясникову М.А., тел. 8-923-716-9619. E-mail mjasnikow@gmail.com.*

О КЛАССИФИКАЦИИ ПОХОЖИХ ТЕКСТОВ

Д.С. ХВОРОВ, А.И. МАМОНТОВ

В настоящее время реализуется всё больше разнообразных автоматических классификаторов, основанных на различных методах машинного обучения [1]. Однако некоторые объекты в силу своей специфики плохо поддаются классификации по общим правилам. К ним относятся очень похожие друг на друга объекты: они принадлежат одному разделу, но между собой отличаются. Например, имеется множество текстов про собак, но они делятся на статьи про овчарок, бульдогов, и т.д. У таких объектов имеется еще одна важная особенность - они могут принадлежать одновременно нескольким классам, что усложняет их классификацию.

В данной работе рассматривается зависимость качества классификации различными методами и сходства классифицируемых объектов.

В качестве **данных для исследования** мы использовали тексты с сайта habr.com, которые относятся к разделу «Программирование» и отмечены посетителями и экспертами этого сайта, как относящиеся к различным схожим друг с другом тематикам - классам. Каждый текст представляется как мешок слов – в формате «словосочетание, количество вхождений этого словосочетания в текст».

В качестве **меры различия** классов обучающей выборки принимается среднее арифметическое евклидовых расстояний между элементами, входящими в различные классы обучающей выборки.

Использованы такие **методы**, как наивный байесовский классификатор, дерево решений, градиентный бустинг, метод опорных векторов, стохастический градиентный спуск и нейронная сеть, обучение происходит на текстах обучающей выборки и классифицируются тексты тестовой (контрольной) выборки.

Рассматриваются следующие **метрики качества классификации** тестовой (контрольной) выборки: *hmloss, precision, recall, accuracy, f1mra*.

Эксперимент 1. Очень похожие друг на друга тексты. Рассматриваются тексты, отнесенные к разным тематикам-классам эпизодическими посетителями сайта habr.com. Эпизодические посетители часто очень неразборчивы в выставлении тематик текстам. Величина выбранной нами меры различия классов оказалась равной 1. Значения метрик качества классификации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения метрик качества классификации в эксперименте 1

	1-hmloss	precision	recall	accuracy	f1
Наивный Байес	0.58	0.2	0.64	0.46	0.31
Дерево решений	0.59	0.25	0.7	0.6	0.38
Градиентный бустинг	0.59	0.19	0.65	0.48	0.32
Метод опорных векторов	0.56	0.06	0.4	0.56	0.05
Стохастический градиентный спуск	0.55	0.35	0.7	0.62	0.56
Нейронная сеть	0.5	0.36	0.7	0.62	0.55

Эксперимент 2. Менее похожие друг на друга тексты. Рассматриваются тексты, составленные и отнесенные к разным тематикам-классам постоянными посетителями сайта habr.com. Постоянные посетители более разборчивы в выставлении тематик текстам. Величина выбранной нами меры различия классов оказалась равной 5. Значения метрик качества классификации приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения метрик качества классификации в эксперименте 2

	1-hmloss	precision	recall	accuracy	f1
Наивный Байес	0.89	0.54	0.52	0.8	0.53
Дерево решений	0.88	0.64	0.74	0.80	0.6
Градиентный бустинг	0.89	0.54	0.52	0.8	0.53
Метод опорных векторов	0.8	0.06	0.5	0.66	0.05
Стохастический градиентный спуск	0.9	0.73	0.72	0.84	0.73
Нейронная сеть	0.9	0.73	0.72	0.84	0.73

Эксперимент 3. непохожие друг на друга тексты. Рассматриваются тексты, отнесенные к единственной тематике-классу постоянными посетителями сайта habr.com. Эти тексты оказались наиболее не похожи друг на друга. Величина выбранной меры различия классов оказалась равной 17. Значения метрик качества классификации приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения метрик качества классификации в эксперименте 3

	1-hmloss	precision	recall	accuracy	f1era
Наивный Байес	0.97	0.87	0.88	0.95	0.88
Дерево решений	0.96	0.85	0.89	0.93	0.87
Градиентный бустинг	0.94	0.82	0.84	0.92	0.83
Метод опорных векторов	0.9	0.53	0.54	0.84	0.53
Стохастический градиентный спуск	0.97	0.88	0.88	0.96	0.88
Нейронная сеть	0.98	0.89	0.89	0.96	0.89

Выводы. Полученные результаты показывают важность того, чтобы в исследуемых данных было меньше похожих друг на друга объектов. Продemonстрировано, что изменения могут существенно улучшить качество решенной задачи, а также то, что некоторые методы, в частности метод опорных векторов, плохо справляются с похожими данными. Научный интерес представляет то, что решения некоторых аналогичных задач методом опорных векторов могут быть улучшены, например, для классификации изображений, в работе [2] продемонстрировано, как с помощью реакции на ошибочные классификации сложных примеров можно улучшать метрику ассигасы.

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.** Рыбинцев А. В. Последовательное определение атрибутов личности по изображению лица на основе ранжированных LBP-признаков / А.В. Рыбинцев Вестник МЭИ, № 5, 2017 - с. 121-129.

Реквизиты для справок: 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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ОБЩЕДОСТУПНОЙ БАЗЫ ТЕСТОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА БЕЗЭТАЛОННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.Н. ТУШЕВ, А.М. ДЕМЕНКО, Д.Н. ФЕЩЕНКО

В связи с техническим прогрессом производство и распространение видео и фото материалов в значительной степени упростилось. В современном мире большинство потребителей предпочитают использовать смартфон вместо цифровой фотокамеры. Однако, ввиду отсутствия у большинства пользователей какого-либо образования в области фотографии, многие снимки получаются с дефектами.

В связи с этим актуальна реализация приложения для автоматического анализа, выявления и устранения различного рода искажений снимков на мобильном устройстве пользователя. Для выявления присутствующих на снимке дефектов решено использовать алгоритм безэталонной оценки качества изображений. Необходимо осуществить объективную оценку точности работы разрабатываемого алгоритма и сравнить его с существующими алгоритмами.

Целью работы является сравнительный анализ и выбор общедоступной базы тестовых изображений для оценки эффективности работы разрабатываемого алгоритма безэталонной оценки качества изображений.

Одним из наиболее точных методов оценки эффективности разрабатываемого алгоритма была бы субъективная экспертиза, однако ее проведение требует довольно большого количества людей и времени [2]. Для решения этой проблемы на международном уровне были разработаны унифицированные тестовые базы изображений, содержащие известные субъективные оценки, применяемые для тестирования различных метрик оценки качества изображений: LIVE IQA, CSIQ, TID2013, LIVE MD, LIVE Challenge [3].

Данные базы тестовых изображений содержат ряд эталонных неискаженных изображений, изображения с различными типами искажений и их экспертные оценки. Данные базы содержат либо эталонное изображение с искусственно искажёнными (рис.1), либо снимки полученные в реальных условиях с натуральными искажениями (рис.2).



Рисунок 1 – Искусственные искажения изображений



Рисунок 2 – Натуральные искажения изображений

LIVE IQA [3] была первой базой данных ставшей общественно-доступной и по-прежнему является наиболее широко используемой. В ней содержатся 29 эталонных снимков и 982 изображения, каждое из которых повреждено по одному из пяти типов искусственных искажений.

CSIQ [3] содержит 30 эталонных изображений и 866 искусственно искаженных, всего применяются 6 типов искусственных искажений.

LIVE MD [3] - это первая база тестовых изображений, в которой применяются сразу два вида искусственных искажений на одном изображении. В этой базе содержится 15 эталонных изображений и 405 искаженных.

Во всех базах тестовых изображений описанных выше для каждого снимка представлена его дифференциальная средняя экспертная оценка (DMOS). TID2013 [3] содержит 25 эталонных снимков и наибольшее количество искаженных изображений (3000). Применяется 24 типа искусственных искажений с 5 уровнями искажений для каждого. В отличие от предыдущих, здесь для каждого изображения представлена усредненная экспертная оценка (MOS).

LIVE Challenge [3] включает около 1200 уникальных снимков, сделанных большим количеством различных камер мобильных устройств в разнообразных условиях (рис. 2). В связи с этим все изображения обладают теми или иными типами неисккусственных искажений, полученных во время фотографирования. Данная база также содержит усредненную экспертную оценку (MOS) каждого изображения.

На основании представленной информации была сравнительная составлена таблица баз тестовых изображений (Таблица 1).

Таким образом, основываясь на представленной информации, наиболее подходящей общедоступной базой тестовых изображений для оценки эффективности работы разрабатываемого алгоритма безэталонной оценки качества изображений является LIVE Challenge. Так как в данной базе содержится большое количество снимков полученных в реальных условиях с соответствующей экспертной оценкой, что позволит испытать точность работы алгоритма условия приближенных реальным.

Таблица 1. Сравнение баз тестовых изображений

База изображений	Количество эталонных снимков	Количество искаженных снимков	Количество типов искажений	Типы искажений	Тип экспертной оценки	Более 1 искажения на снимке
LIVE IQA	29	779	5	иск.	DMOS	-
CSIQ	30	866	6	иск.	DMOS	-
TID2013	25	3000	24	иск.	MOS	-
LIVE MD	15	405	2	иск.	DMOS	+
LIVE Challenge	-	1162	Множество	нат.	MOS	+

иск. - искусственные искажения, нат. - натуральные искажения.

Литература. 1. Деменко А.М., Фещенко Д.Н., Тушев А.Н. Анализ эффективности реализации современных методов безэталлонной оценки качества цифровых изображений // Ползуновский Альманах, 2018, С.87-90 **2.** Ненахов И.С. Неэталонная оценка качества телевизионных изображений на основе локальных бинарных шаблонов и алгоритмов машинного обучения, 2016, 132 с. **3.** Jongyoo Kim, Hui Zeng, Deep Convolutional Neural Models for Picture Quality Prediction., IEEE Signal Processing Magazine, 2017, 130-141.

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, пр-т. Ленина 46, Алтайский госу.дарственный технический университет имени И.И. Ползунова, кафедра ИВТиИБ, к.т.н., доцент Тушев А.Н. – tushev51@mail.ru, тел. 8 (3852) 29-07-18, Деменко А.М. – sshdemenk@rambler.ru.

РАЗРАБОТКА СЕНСОРНОЙ ПАНЕЛИ НА ДАТЧИКАХ ПРИБЛИЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВЕРНЫМИ ЗАМКАМИ

А.Н. ИСАКОВ, В.Г. ЛУКЬЯНОВ, Д.Е. КРИВОБОКОВ

На современном этапе развития информационных технологий происходит постепенный переход от ручного к автоматическому управлению сложными процессами в производстве, включая процессы поддержания безопасности и защиты от несанкционированных проникновений благодаря устройствам бесконтактного управления.

Для решения проблемы незаконного проникновения предлагается разработать устройство бесконтактного интеллектуального управления

дверными замками на основе датчиков приближения, количество которых определяется в зависимости от размера поверхности прикосновения и платы управления.

Данное интеллектуальное устройство может быть использовано как для управления замочной системой двери повышенной прочности для обеспечения максимальной сохранности имущества, так и для повышения эффективности мер по предотвращению незаконного проникновения.

Целью данной работы является анализ возможности применения бесконтактных датчиков приближения для реализации сенсорной панели управления дверными замками.

Объектом исследования являются передаточные характеристики бесконтактных датчиков приближения при дистанционном взаимодействии с пальцем.

Предмет исследования - аппаратная и программная реализация устройства интеллектуального управления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить аналитический обзор компонентов, входящих в сенсорную панель устройства управления;
- произвести выбор датчиков приближения для формирования сенсорной панели с выявлением их достоинств и недостатков;
- спроектировать плату управления для работы с датчиками;
- написать тестовое программное обеспечение для проверки работы сенсорной панели;
- обобщить и дать оценку результатам разработки.

Сенсорная панель – это устройство ввода информации посредством взаимодействия пальцев рук или иных предметов с чувствительной поверхностью панели. Сенсорные панели, действие которых основано на чувствительной плёнке (сенсорной плёнке) в паре с дисплеем разделяют на:

- отдельные (среда взаимодействия между сенсорным стеклом и дисплеем воздух, сенсорная плёнка располагается на внутренней поверхности сенсорного стекла);
- монолитные (среда взаимодействия между сенсорным стеклом и дисплеем – ультрафиолетовый клей, сенсорная плёнка располагается на внешней поверхности дисплея).

Постепенно набирают популярность сенсорные панели, базирующиеся на датчиках приближения, они нашли широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря невысокой цене, высокой стабильности параметров, портативности, малым размерам и простоте установки [2].

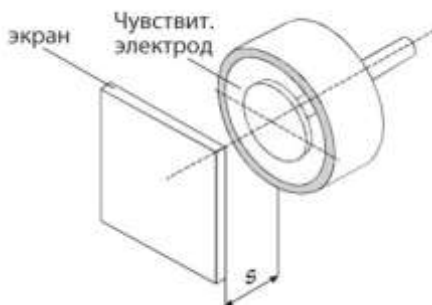


Рисунок 1 – Графическое представление сенсорной панели, базирующейся на датчиках приближения

Принцип работы вышеописанной сенсорной панели был выбран в качестве основы для разработки и проектирования устройства бесконтактного интеллектуального управления дверными замками. Следующим шагом был анализ существующих датчиков приближения с выявлением их достоинств и недостатков, на основании чего осуществлен итоговый выбор датчиков для дальнейшего монтажа в сенсорную панель.

Рассматривались следующие типы датчиков приближения:

- ёмкостной;
- индуктивный;
- фотоэлектрический (фотодатчик);
- ультразвуковой.

Ёмкостные датчики способны реагировать на металлические и неметаллические предметы в порошковой, гранулированной, жидкой и твердой формах [1].

В основе работы ёмкостного датчика лежит использование ёмкостных связей. Сам датчик, по сути, представляет собой одну из обкладок пространственного конденсатора (открытый конденсатор). Второй обкладкой является земля. В качестве изоляции между обкладками (диэлектриком) используется воздух. Если же к датчику начинает приближаться некоторый объект с более высоким значением ϵ , то суммарная ёмкость начнет возрастать.

Индуктивные датчики способны обнаруживать присутствие объекта без непосредственного контакта с ним. Стоит подчеркнуть, что индуктивные датчики чувствительны только к металлическим предметам, в то время как ёмкостные способны детектировать любые предметы, диэлектрическая проницаемость которых отлична от воздуха (например, воду, дерево, пластик и так далее) [2].

Основным компонентом индуктивного датчика является катушка индуктивности, подключенная к генератору. При приближении к катушке металлического предмета, большая часть силовых линий замыкается через данный предмет при этом индуктивность катушки увеличивается, вследствие чего амплитуда электрических колебаний будет минимальной [4].

Таким образом, по изменению величины емкости датчика можно судить о наличии объекта в его зоне действия (рабочей зоне). При этом материал объекта может быть практически любым, важным является только значение его диэлектрической проницаемости.

Фотоэлектрический датчик - это устройство, которое позволяет обнаружить изменение интенсивности света. Тип света и способ обнаружения цели зависят от датчика [5]. Фотоэлектрические датчики (фотодатчики) настолько универсальные, что решают большую часть проблем в промышленной сфере. Эти датчики нашли широкое применение для конвертации в электрический сигнал данных о механических перемещениях, влажности, температуры, освещенности, яркости и т.п. Как правило, датчик состоит из излучателя и приемника. Принцип работы состоит в регистрации луча, отразившегося от попавшего в зону действия датчика предмета, при этом не важно, из какого материала предмет [6].

При рассмотрении ультразвукового датчика приближения стоит отметить, что его основными элементами являются два пьезоэлемента: один работает как излучатель сигнала, другой — как приемник. Генерируемый сигнал от излучателя при попадании объекта в зону действия отражается от него, отраженный сигнал попадает на приемник. Оценка расстояния прохождения сигнала до предмета и обратно происходит посредством измерения времени прохождения данного сигнала по аналогичному пути [3].

Учитывая характеристики каждого из вышеперечисленных датчиков приближения, были выбраны емкостной фотодатчик со световым потоком отражения и ультразвуковой.

Индуктивный датчик приближения оказался неподходящим для тестовой модели, так как для его проверки предполагается использование пальцев рук, для данного датчика происходит срабатывание только на предметы, изготовленные из металла, также данные датчики будут помещены в корпус из металла, что негативно скажется на работе датчика.

Емкостной датчик был выбран по причине срабатывания на предмет, диэлектрическая проницаемость которого превышает диэлектрическую проницаемость воздуха. Для данного датчика требуется дополнительная проверка влияния помех, оценка влияния температур ниже нуля во избежание случайных срабатываний.

Также для проверки тестовой модели был выбран фотодатчик со световым потоком отражения как более прогрессивный и перспективный тип бесконтактного датчика приближения с невосприимчивостью к внешнему воздействию и состоянию окружающей среды.

Ультразвуковой датчик приближения также подходит для проверки тестовой модели работы сенсорной кнопки, т.к. он устойчив к помехам и вибрациям, создаваемым окружающей средой, однако необходимы дополнительные исследования условий ложных срабатываний данного датчика.

Таким образом, в экспериментальных моделях сенсорной панели реализованы фотоэлектрические и емкостные бесконтактные датчики приближения. На данном этапе испытываются конструкции датчиков собственной разработки, а так же новые схмотехнические решения.

Литература: 1. Григорьев, С.Н. Диагностика автоматизированного производства. [Электронный ресурс] / С.Н. Григорьев, В.Д. Гурин, М.П. Козочкин, В.А. Кузовкин. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2011. — 600 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2020>. 2. Пер, Д. Промышленная электроника. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2011. — 1136 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/891>. 3. Stan Gibilisco. Teach Yourself Electricity and Electronics, 5th Edition. [Электронный ресурс] / С Stan Gibilisco. — Электрон. дан. — New York: McGraw-Hill, 2013. — 700 с. — Режим доступа: <https://www.amazon.com/Teach-Yourself-Electricity-Electronics-5th/dp/0071741356>. 4. Automation.com [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.automation.com/library/articles-white-papers/sensors-sensing-technologies/fundamentals-of-photoelectric-sensors>. 5. ЭлектроТехИнфо [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.eti.su/articles/promishlennaya-avtomatika/promishlennaya-avtomatika_496.html. 6. Виноградова, К.А. Оптоэлектроника светодиодов. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: / К.А. Виноградова, С.Н. Липницкая, В.Е. Бугров. — Электрон.дан. — Спб. : НИУ ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики), 2013. — 85 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=70951.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ САД - СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛАБОТОЧНЫХ СИСТЕМ

А.А. ЧЕПУШТАНОВ, А.Н. КАСЬЯНОВ

В области проектирования, монтажа слаботочных систем со временем сложность и наполняемость объектов различным оборудованием возрастает. Порой здания на объектах представляют собой блочные конструк-

ции из одного-двух помещений. Функционал программ позволяет работать с такими объектами, но он не учитывает всей специфики проектирования площадочных объектов. Поэтому времени на разработку проектного решения и на выпуск прилагаемых документов уходит значительно больше, чем на разработку проектной документации вручную. Однако большинство используемых прикладных пакетов САПР, как графическое ядро в базовой комплектации, постепенно теряет свою актуальность.

Происходит это прежде всего потому, что пользователю важно проектировать взаимосвязанные объекты, а не графические примитивы, являющиеся базовыми при выполнении графических построений, вручную рисовать иконки УГО, считать количество датчиков, проводов и т.д. Важно при этом проектировать эффективно по качественным и количественным критериям.

Вместе с тем наличие собственной графической платформы делает большинство САПР (например, nanoCAD ОПС) независимым от других графических систем, а поддержка формата *.dwg способствует обмену информацией со смежниками и заказчиками.

Пакет nanoCAD ОПС сочетает в себе удобный, специально сконструированный интерфейс, точно подобранные и настроенные инструменты графического отображения, возможность выполнения необходимых расчетов при подборе оборудования - инструмент для проектировщиков «слаботочки», который разработан с учетом основных стандартов СП 5.13130.2009, СП 3.13130.2009, РД 25.953–90, РД 78.36.002–99, РМ 78.36.001–99, НПБ 160–97, ГОСТ 21.1101–2009. При этом риск появления в проектной документации ошибок, вызванных действием так называемого «человеческого фактора», сведен к минимуму. Таким образом, существенно сокращаются сроки проектирования без потери качества создаваемой проектной документации.

Для хранения созданных объектов (блоков, моделей) с целью возможности применения их и в текущих проектах и в дальнейших разработках используются базы данных. При этом возникает вопрос об оптимизации взаимодействия САПР с базой данных, хранящей объекты проектирования, с целью облегчения нагрузки на ресурсы автоматизированного рабочего места (АРМ). Данная проблема характерна для области проектирования инженерных коммуникаций, а именно, при проектировании слаботочных систем – пожарно-охранных, систем видеонаблюдения и других.

Анализ и оптимизация методики применения баз данных при проектировании с использованием САПР предполагает решение следующих задач:

- анализ актуальности выбранного направления;
- анализ существующих методов взаимодействия САПР с базами данных;

– формирование гипотезы оптимизации взаимодействия САПР с базами данных.

Поскольку многие программы САПР в той или иной степени взаимодействуют с базами данных, произведен анализ схем запросов и обращений САД-систем к базам данных и выявлена структура взаимодействия программ между собой.

Основные требования - возможность оптимизации быстродействия выполнения поставленных задач (запросов) с целью увеличения продуктивности при проектировании слаботочных систем с потреблением меньших ресурсов АРМ.

Представленная на рис. 1 схема взаимодействия баз данных с программами САПР иллюстрирует «модуль оптимизации» как интегрированный компонент САПР, находящийся непосредственно в ядре программы.

Особенностью оптимизации является возможность исключения из цепочки взаимодействия САПР с базами данных связующего звена (системный буфер обмена), позволяющая экономить общие ресурсы АРМ.

Данное решение позволяет выполнить функции системного буфера обмена, с интеграцией непосредственно в программу САПР. Благодаря этому уменьшается потребление системных ресурсов и время выполнения операций «запрос-ответ» между САПР и базами данных.



Рисунок 1 – Структурная схема взаимодействия баз данных с программами САПР: а) – с использованием системного буфера обмена; б) – с использованием модуля оптимизации

Литература: 1. Чепуштанов А.А. Разработка программного модуля для автоматизации проектирования охранно-пожарной сигнализации / А.А. Чепуштанов, А.А. Назьмов // Ползуновский альманах. – 2014. - №1. – С. 162-165. 2 Чепуштанов А.А. Разработка и использование базы данных пневмотранспортного оборудования при проектировании пнев-

мотранспортных установок. / А.А. Чепуштанов, А.В. Тарасов, Д.Г. Березин // Ползуновский альманах. – 2013. - №1. – С. 178-180.

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, к.т.н, доцент Чепуштанов Александр Александрович, тел. (385-2) 29-09-13. E-mail: a.a.che2017@mail

АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ РЕЧИ В ТЕКСТ

А.Н. ТУШЕВ, Д.Н. ФЕЩЕНКО, А.М. ДЕМЕНКО

На сегодняшний день существует большое количество методов распознавания речи (рис. 1). Некоторые из этих методов устарели, другие используются в самых современных программных средствах. Для выбора метода распознавания речи необходимо проанализировать существующие методы и выбрать наиболее подходящий.

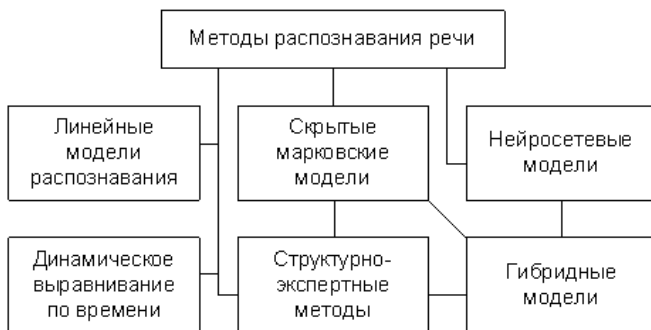


Рисунок 1 – Методы распознавания речи

Первыми появились линейные модели распознавания, в которых предполагалось, что для сравнения речевого сигнала с эталоном нужно использовать простое масштабирование во времени. Недостаток этого метода заключается в том, что в реальной речи существуют нелинейные искажения по времени. Этот метод не обеспечивал необходимой точности распознавания и на сегодняшний день считается устаревшим [1].

Следующим появился метод динамического выравнивания по времени, предназначенный исправить недостаток линейного метода. Преимуществом данного метода является то, что при сравнении речевого сигнала с эталоном получалась нелинейная траектория. Метод динамического выравнивания обеспечил значительное увеличение точности распознавания по сравнению с линейным методом. К недостаткам данного метода

можно отнести значительные вычислительные ресурсы и большие объемы памяти для хранения эталонов.

Дальнейшее развитие метода динамического выравнивания связано с появлением скрытых марковских моделей. Скрытые марковские модели представляют собой модели дважды стохастических случайных процессов. В методе скрытых марковских моделей эталон представляет собой вероятность перехода от одних состояний к другим. Применение скрытых марковских моделей для представления речевых сигналов позволяет учитывать как временную, так и акустическую нелинейность речи.

Основным преимуществом описанных выше методов является то, что они обеспечивают высокую точность распознавания при небольших затратах. Главным их недостатком является необходимость в достаточно сложных процедурах обучения.

Следующим этапом развития систем распознавания речи стал приобретающий в наши дни высокую популярность нейросетевой метод. Важным преимуществом нейросетевого метода является возможность параллельной обработки данных. Данная особенность позволяет достигнуть значительного ускорения процесса распознавания речи, вплоть до возможности распознавания речи в режиме реального времени. Также большим преимуществом нейросетевого метода является обобщение полученных знаний.

Одновременно с нейросетевым методом появились и структурно-экспертные методы. Отличительной особенностью данных методов является использование не только математических моделей, но и баз знаний, описывающих речевые и языковые модели.

В последнее время всё чаще стали появляться системы распознавания речи, использующие гибридные модели, представляющие собой комбинации из вышеописанных методов.

Для того, чтобы выбрать единицу распознавания речи, сначала нужно выяснить, какие речевые единицы использует человек в слитной речи. В результате проведенных исследований в [2] были сделаны выводы, что «для слитной речи характерны сложные временные образы, которые воспринимаются в целом». Таким образом, структурными единицами могут быть: фонемы и их аллофоны, фонетические слоги, слова, целые фразы и предложения. В зависимости от различных факторов, человек использует наиболее подходящую речевую единицу. Исходя из этого можно сделать вывод, что невозможно однозначно определить структурную речевую единицу, с помощью которой человек воспринимает слитную речь.

Минимальной речевой единицей принято считать фонему или аллофон. Большинство систем синтеза речи используют их. Однако на сегодняшний момент не существует ни одного коммерческого продукта, использующего фонемы и аллофоны в качестве эталонов в системах

распознавания речи. Однако в этом направлении ведется большое количество исследований, некоторые из которых обеспечивают высокую точность распознавания [3].

Целые слова часто используются в системах распознавания. Однако, у такого способа существует несколько недостатков. Во-первых, словарь, содержащий большое количество фраз, занимает большое место в памяти. Во-вторых, поиск слов в слитной речи при использовании слов в качестве единиц распознавания зачастую оказывается невозможным.

Системы распознавания речи, использующие целые слова или фразы в качестве эталонных единиц, принято называть системами распознавания речи по шаблону. Данные системы являются дикторозависимыми, но их создание менее трудоемко, чем создание систем на основе других структурных единиц.

В современных системах распознавания речи используются несколько способов для обнаружения структурных единиц в речи (рис. 2).



Рисунок 2 – Способы выделения структурных единиц

Наиболее распространенный способ основан на преобразовании Фурье, которое переводит исходный сигнал из амплитудно-временного пространства в частотно-временное, а во временной области – линейное предсказание речи, описывающее речевой сигнал при помощи модели авторегрессии. Недостатком преобразования Фурье является потеря информации о временных характеристиках обрабатываемых сигналов.

Преобразование Фурье предполагает разложение исходной периодической функции в ряд, в результате чего функция представляется в виде суперпозиции синусоидальных волн различной частоты [4].

Вейвлетное преобразование является типом линейного преобразования сигналов и физических данных. Вейвлетные функции базиса позволяют сконцентрировать внимание на тех или иных локальных особенностях анализируемых процессов, которые не могут быть выявлены с помощью традиционного преобразования Фурье. Вейвлеты представляют

с собой короткие волновые пакеты с нулевым средним значением, локализованные по оси аргументов, инвариантные к сдвигу и линейные к операции масштабирования.

Таким образом, с помощью вейвлетов можно анализировать свойства сигнала в физическом и частотном пространстве одновременно. Также, в отличие от традиционного преобразования Фурье, вейвлет-преобразование определено неоднозначно: каждому вейвлету соответствует свое преобразование. Это позволяет правильнее подобрать вейвлет функцию.

Кроме вейвлет-преобразования и анализа Фурье в системах распознавания речи применяют кепстральный анализ, однако разработка таких систем очень трудоемка и требует высокой квалификации разработчика.

Задача распознавания человеческой речи, разбитой на слоги, является более простой, чем задача распознавания слитной речи. Это обуславливается тем, что в любом языке количество слогов значительно ниже, чем количество слов. Такие четко выделенные речевые единицы можно использовать в качестве обучающей выборки для обучения нейронной сети. При этом обучение проводится интерактивно. Ошибки сети добавляются к обучающей выборке.

Подавляющее большинство существующих работ ориентировано на автоматическое распознавание слитной речи. Попытки создания «электронного секретаря» до появления методов глубокого обучения нейронной сети не обеспечивали достаточную точность распознавания речи. Как пример можно привести программу Dragon NaturallySpeaking.

Как было отмечено выше, полностью автоматическое распознавание речи пока не обеспечивает высокой точности распознавания. А настройка на конкретного диктора в интерактивном режиме с использованием современных методов обучения нейронной сети позволит существенно увеличить точность распознавания, так как в подобных задачах технология глубокого обучения нейронной сети показывает высокие результаты.

Область применения такого программного средства достаточно обширна. Оно позволит людям, чья профессиональная деятельность связана с написанием текстов, экономить время, а также облегчит использование компьютера людьми с ограниченными физическими возможностями.

Литература. 1. Методы автоматического распознавания речи: В 2-х книгах. Пер. с англ./Под ред. У. Ли. – М.: Мир, 1983. – Кн. 1. 328 с., ил. **2.** Фланаган Д. Анализ, синтез и восприятие речи – М.: Связь, 1968 с.308. **3.** Ронжин А.Л., Ли И.В., Карпов А.А. Система автоматического распознавания русской речи SIRIUS // Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект» № 3 2005 г. **4.** Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 440 с.

Реквизиты для справок: *Россия, 656038, Барнаул, проспект Ленина, д. 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, кандидату технических наук, доценту, Тушеву А.Н., тел. (385-2) 29-07-18. E-mail: tushev51@mail.ru*

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ СИЛОВЫХ КЛЮЧЕЙ В ПРЕЦИЗИОННОМ ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В.О. ЧЕЛПАНОВ, Д.И. КОБЕЛЕВ, В.И. ИОРДАН

В сфере высокоточных измерений в лабораторных условиях или на производстве всегда необходимы информационно-измерительные устройства, обладающие прецизионной точностью. Применение такой измерительной аппаратуры необходимо во множестве отраслей, в научных исследованиях, в производстве высокоточных электронных изделий. Тем целесообразней с экономической точки зрения внедрять и применять новые способы реализации устройств, которые отличаются дешевизной, а по характеристикам ничуть не уступают более дорогостоящим аналогам.

Таким устройством является прецизионный источник питания постоянного тока, разработанный на кафедре вычислительной техники и электроники (ВТиЭ) в Алтайском государственном университете. В данном источнике питания применен запатентованный разработчиками высокоточный метод управления импульсным стабилизатором тока, основанный на адаптации параметра скважности широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сигнала управления инвертором к динамике изменения режимов нагрузки [1]. Непосредственно в цепи нагрузки импульсного стабилизатора измеряется текущее значение тока, затем оно оцифровывается и сохраняется в памяти ВУ с последующим вычислением программным способом параметра скважности ШИМ-сигнала по заданному (устанавливаемому) значению и последовательности сохраненных в памяти значений тока. Только после этого формируется ШИМ-сигнал управления инвертором, а затем выпрямляется и сглаживается выходной ток инвертора. Этот метод применяется для достижения высокого уровня прецизионной точности установки значения постоянного тока с очень малой нестабильностью в цепи нагрузки [2].

На рис. 1 представлена структурная схема устройства, реализующего высокоточный способ регулирования (управления) выходного тока стабилизатора.

Устройство подключается к сети 220 В, далее на трансформатор. На вторичной обмотке трансформатора 18 В переменного напряжения поступает на выпрямитель 2, который сглаживает переменное напряжение в постоянное 25,4 В.

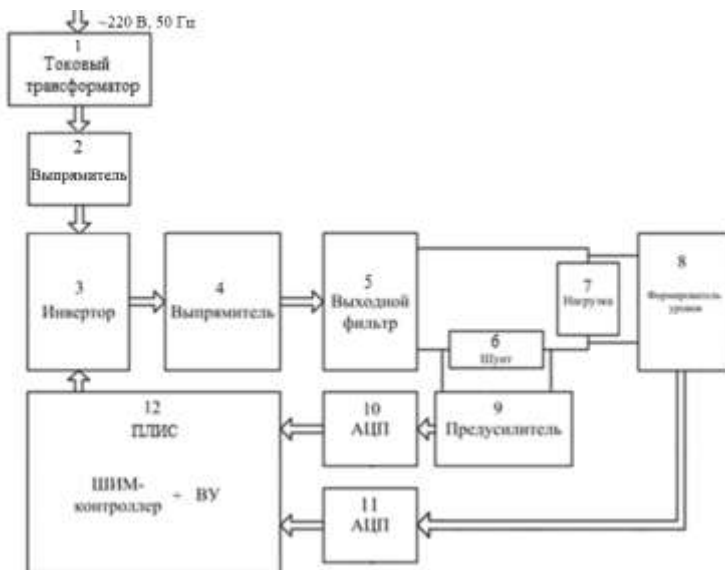


Рисунок 1 – Структурная схема импульсного стабилизатора постоянного тока с высокоточным способом управления током на основе предсказания скважности ШИМ-сигнала управления инвертором

Инвертор 3 пропорционально скважности управляющего сигнала формирует на выходе импульсный ток, который поступает непосредственно на выпрямитель 4. Выпрямитель 4 преобразует импульсный ток с выхода инвертора в постоянный, который затем сглаживается с помощью выходного фильтра 5 и подается в нагрузку 7, в цепи которой последовательно включен прецизионный низкоомный шунт 6. Напряжение с шунта 6, пропорциональное току согласно закону Ома, поступает на АЦП 10, через предусилитель 9, который преобразует напряжение, снимаемое с шунта 6, до необходимого уровня в соответствии с динамическим диапазоном входного напряжения на АЦП 10. Дискретное значение выходного напряжения АЦП 10 передается в ПЛИС 12, где пересчитывается в цифровое значение тока. Снимаемое напряжение с нагрузки 7 ослабляется с помощью формирователя уровня 8, оцифровывается на АЦП 11 и обрабатывается с помощью программной конфигурации ПЛИС 12. Кроме того, ПЛИС 12 программным способом, использующим алгоритмы «предсказания», определяет численную оценку значения скважности ШИМ-сигнала управления инвертором, передает ее в цифровой ШИМ-контроллер, который формирует сигнал прямоугольной формы для управления инвертором 3.

На практике оказалось, что для сглаживания входных пульсаций от трансформатора недостаточно одного лишь фильтра 5, что делает невозможным установить выходное напряжение с высокой прецизионной точностью и, следовательно, не позволяет установить точное значение тока. На рис. 2 представлен сигнал, снятый с нагрузки, амплитуда пульсаций около 100 мВ.

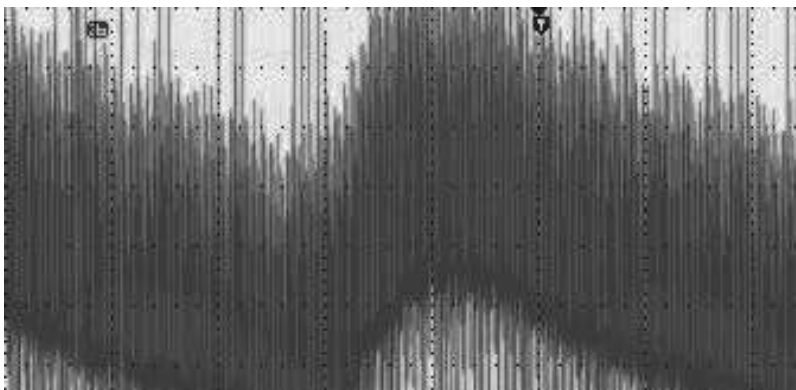


Рисунок 2 – Сигнал, снятый с нагрузки

Сигнал зашумлен высокочастотной пульсацией от переходных процессов силовых транзисторов (работающих на частоте 17 кГц) и низкочастотной пульсацией 100 Гц формирующейся диодным мостом. Возникает задача минимизировать эти пульсации с помощью модернизации электрической принципиальной схемы, а именно блока Выпрямителя (2), состоящего из диодного моста и конденсаторов большой ёмкости.

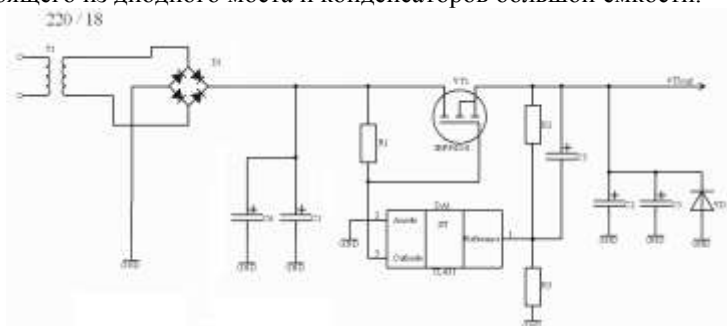


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная модернизированного выпрямителя

Была подобрана и адаптирована схема [3] стабилизированного источника питания, важным преимуществом которого являются его небольшие

габариты и низкая нестабильность выходного напряжения. На рис. 3 приведена принципиальная электрическая схема стабилизированного источника питания:

В данной схеме используется токовый трансформатор мощностью 500 ватт, на выходе которого 18 вольт переменного тока. После диодного моста действующее напряжение 25.4 вольта. Управляющим узлом схемы является связка микросхемы DA1 TL431 и мощного полевого транзистора VT1 MOSFET IRFP4110. Микросхема TL431 является прецизионным регулируемым стабилитроном. Установка выходного напряжения происходит путём подбора резисторов R2 и R3. На выходе необходимо получить стабилизированное напряжения 24 В.

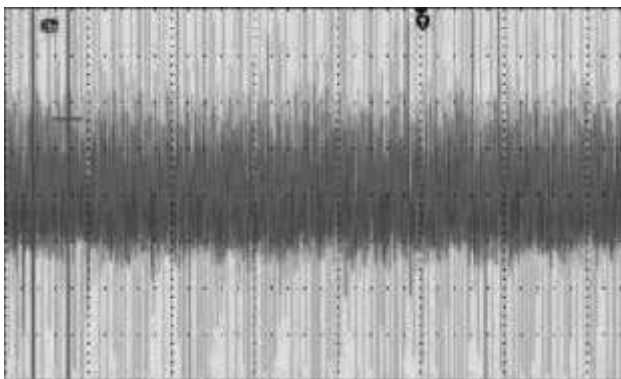


Рисунок 4 – Сигнал на выходе после применения модифицированной схемы стабилизации

Как видно из рис. 4, такая модернизация схемы стабилизатора устранила 100 Гц пульсацию с выхода диодного моста, высокочастотная пульсация уменьшилась до 10-20 мВ, но в дальнейшем еще рекомендуется применить на выходе фильтр высоких частот для минимизации высокочастотных пульсаций.

Литература. 1. Патент 2366067 Российская Федерация, МПК Н 02 М 3/335. Способ управления импульсным стабилизатором тока [Текст] / В.Е. Балахонцев, А.И. Заико, В.Н. Зелепукин; приоритет от 14.04.08; опубл. 27.08.09. Бюл.И. № 24. **2.** Иордан В.И., Кобелев Д.И. Прецизионный программно-управляемый импульсный стабилизатор постоянного тока // Актуальные проблемы электронного приборостроения: Материалы 11-ой Международной научно-технической конференции АПЭП-2014 (Саратов, 25-26 сентября 2014 г.): В 2 т. – Т.2 - Саратов: Буква, 2014. – 479 с. - С. 267-274. **3.** Изготовление БП [Электронный ресурс] // habr.com: [сайт]. [2014]. URL: <https://habr.com/sandbox/77190/> (дата обращения: 20.01.2018).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОГОННУЮ ЕМКОСТЬ ПРОВОДА

Э.Б. ЦЫДЕНОВ, Г.В. ВАВИЛОВА, С.В. МАЗИКОВ

Кабельные изделия можно назвать качественными, если их механические, электрические, геометрические параметры соответствуют требованиям нормативных документов [1]. Одним из важнейших параметров является емкость. В работе рассматривается провод, как часть кабельного изделия, качество которого напрямую зависит от качества провода. О качестве провода можно судить по отклонению значения погонной емкости от номинального значения [2]. Емкость провода напрямую связана с правильностью технологического процесса. Поэтому емкость нужно контролировать на каждом этапе. Определение действительного значения емкости провода проводится при нормальных климатических условиях, то есть $25 \pm 10^\circ\text{C}$ [3].

Значение емкости провода может значительно зависеть от температуры воды [4]. В процессе производства температура провода изменяется в широком диапазоне, поэтому температуру следует учитывать при измерении емкости. Целью данной работы является оценка степени влияния температуры воды провода на значение погонной емкости.

1. Технологические процессы и температурные режимы

Процесс изготовления провода включает в себя несколько этапов: волочение, протяжка, отжиг, наложение изоляции, скрутка и бухтовка [2]. На рис. 1 представлена структурная схема линии экструзии, где происходит наложение изоляции на электрическую жилу провода. Медная проволока проходит начальную обработку, далее поступает на экструзионную линию для наложения изоляции.

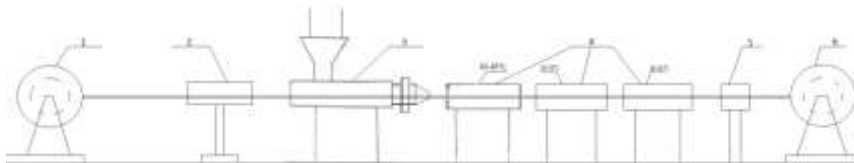


Рисунок 1 – Линия экструзии:

1 – отдающий барабан; 2 – нагревательный прибор; 3 – экструдер;
4 – охлаждающая ванна; 5 – сушка провода; 6 – принимающий барабан

Рассмотрим температурные режимы технологических процессов для изготовления провода с ПВХ-изоляцией.

Для лучшей адгезии жилы провода нагревается до температуры $100...150^\circ\text{C}$. Температура однородной массы в экструдере составляет

100...130°C. Полимерное покрытие после экструдирования необходимо охладить до температуры, при которой оно не будет деформироваться или повреждаться на приемном барабане. Для обеспечения равномерного охлаждения провод поступает в охлаждающую ванну, состоящую из трех зон. Температура зон охлаждающей ванны соответственно равна 65...85°C, 25...55°C, 18...25°C [5]. После охлаждения провод проходит режим сушки, где температура изоляции принимает значение окружающего воздуха (15...30°C).

2. Описание экспериментальной работы

Для исследования степени влияния температуры на действительное значение емкости провода был проведен эксперимент. На рис. 2 показана установка для проведения эксперимента.



Рисунок 2 – Экспериментальная установка

Для измерения емкости в ванну с насыщенным солевым раствором погружались два провода. Один из них использовался для заземления установки. Емкость второго провода (контролируемого) измерялась в процессе эксперимента. Контролируемый провод представлял собой отрезок провода длиной 0,5 м диаметром жилы 1 мм и изоляции из ПВХ диаметром 1,25 мм.

Температура водного раствора изменялась путем нагревания от 18 до 95°C (температуры кипения). Значение емкости контролируемого провода фиксировалось с помощью RLC-измерителя при изменении температуры с шагом 10°C.

Результаты эксперимента представлены на рис. 3 в виде графика зависимости емкости провода от температуры воды. Анализ результатов показывает, что увеличение температуры воды, приводит к увеличению емкости провода.

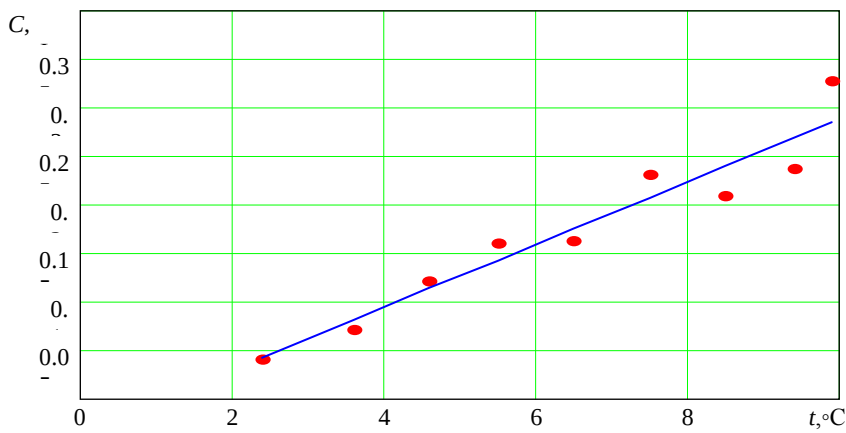


Рисунок 3 – Графики зависимости емкости провода от изменения температуры воды

Модель провода можно представить в виде цилиндрического конденсатора, емкость которого рассчитывается по известной формуле [5]:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (1)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость; R – радиус изоляции; r – радиус токопроводящей жилы; l – длина провода.

Анализ формулы позволяет сделать вывод, что емкость зависит от геометрических размеров и диэлектрической проницаемости.

Экспериментальные исследования и изучение температурных коэффициентов расширения материалов провода позволяют сделать вывод о незначительном изменении геометрических размеров за счет увеличения температуры. Следовательно, изменение емкости провода происходит вследствие изменения диэлектрической проницаемости ПВХ [6].

Выводы: Рассмотрены температурные режимы технологического процесса нанесения изоляции из ПВХ при производстве электрических проводов. Отмечено существенное изменение емкости провода при изменении температуры воды. Полученные экспериментальные результаты показывают, что изменение температуры воды приводит к изменению диэлектрической проницаемости ПВХ. Полученные результаты необходимо учитывать при определении действительного значения емкости провода на разных этапах его производства.

Литература. 1. ГОСТ 23286-78 Кабели, провода и шнуры. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением. [Электронный ресурс] – Введ. 1981.01.01. – Измен. 2015.01.16. – Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/32228/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.02.2018). 2. 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 18.02.2018). 3. Производство кабелей: технология, оборудования, этапы// ЮГТЕЛЕКАБЕЛЬ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yugtelekabel.ru/proizvodstvo-kabelej-texnologiya-oborudovanie-etapy.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.02.2018). 4. Мазиков С.В., Вавилова Г.В. Метрологическое обеспечение измерителя емкости САР – 10.1 // Ползуновский вестник. – №2. – 2016: – С. 65-68. 5 Основы кабельной техники: учебное пособие/ Под ред. В.А. Пешкова. – М.: Академия, – 2006. – 432 с. 6. Вавилова Г.В. Разработка методов и средств контроля погонной емкости одножильного электрического провода в процессе производства [Электронный ресурс]: дис. ... канд.тех. наук: спец. 05.11.13: – Томск: [Б. и.], 2016. –Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/30588>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 24.03.2018).

Реквизиты для справок: *Россия, 634034, Томск, ул. Савиных 7, Томский политехнический университет, магистрант Цыденов Э.Б., доцент, Вавилова Г.В., аспирант Мазиков С.В. тел. 8(999)6201720. E-mail: tsydenov.e@mail.ru*

ЛАБОРАТОРИЯ ИИС АЛТГТУ: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ, ИТОГИ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А.Г. ЯКУНИН

Свои истоки лаборатория информационно-измерительных систем (ИИС) Алтайского государственного технического университета (АлтГТУ) берет из научно-исследовательской лаборатории НИЛ-11, созданной в конце 70-х годов прошлого века д.т.н., профессором П.И.Госьковым, приехавшем в Алтайский политехнический институт "поднимать науку" в начале 70-х годов из Томского университета (в то время – института) автоматизированных систем управления и радиоэлектроники. Основным направлением деятельности лаборатории была разработка оптико- электронных приборов для измерения линейных размеров, перемещений, параметров движения и других видов измерений неэлектрических величин, в основе которого лежала регистрация с помощью соответствующих фо-

топриемников оптического сигнала, содержащего информацию об объекте измерения.

Изначально это были фотоприемники, реагирующие только на положение падающего на них светового пятна, а позже начали применяться и более сложные оптоэлектронные приборы. К ним относились однострочные и матричные полупроводниковые преобразователи изображения в электрический сигнал. Именно матричные преобразователи явились прообразами современных устройств, используемых в цифровых фотоаппаратах, видеокамерах и смартфонах. Примером приборов, основанных на применении таких преобразователей, может служить измеритель диаметра алмазных заготовок, разработанный для барнаульской заводы "Кристалл", занимающегося огранкой алмазов (рис. 1), модификация которого применялась на Алтайском заводе прецизионных изделий для контроля качества изготовления отверстий форсунок плунжерных пар. Использование матричных преобразователей изображения позволяло создавать достаточно универсальные устройства в виде так называемых "оптических головок", способных решать самые различные задачи. В конце 80-х годов 20 века в подобных разработках для обработки информации начали применяться появившиеся в то

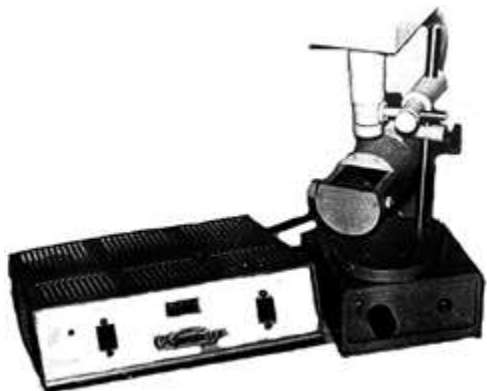


Рисунок 1 – Прибор для измерения диаметра алмазных заготовок

время микро-ЭВМ, в частности микро-ЭВМ "Электроника-60" – прабабушка современных Mac-ов и iPad-ов. Пример другой разработки того времени на основе фотодиодной матрицы [1], работающей уже совместно с микро-ЭВМ, можно найти, например, в [2]. Заказчиками подобных устройств являлись не только алтайские предприятия, но и предприятия других городов, в том числе и предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Среди них можно назвать такие солидные фирмы, функционирующие и по настоящее время, как ФНПЦ "Алтай", "ЛОМО", НПО "Энергия". Например, в 1984 году суммарный объем работ, выполняемых лабораторией, составлял порядка \$500 тыс.

С наступлением перестройки в начале 90 –х годов лаборатория НИЛ-11, так же, как и другие лаборатории вуза, прекратила свое существование. Тем не менее, работы по созданию новых средств измерения ее

бывшими сотрудниками продолжались, но они уже базировались на иных организационно-правовых формах. Кроме того, в связи с прекращением заказов от промышленных предприятий и предприятий ОПК, произошло перепрофилирование разработок в сторону создания устройств более широкого применения. В частности, в этот период были разработаны автоматизированные медицинские диагностические комплексы для исследований сердечно - сосудистой деятельности серии ЭФКР (электро-фонокардио-рео) на базе появившихся в то время диалоговых вычислительных комплексов серии ДВК, которые в дальнейшем были заменены на IBM – совместимые компьютеры (рис. 2, [3]). Таких комплексов в различных модификациях, начиная с 1992 года, было изготовлено свыше 25 штук, и они эксплуатировались и обслуживались сотрудниками вуза в лечебно-профилактических учреждениях (преимущественно в поликлиниках) г. Барнаула на протяжении более 15 лет.

Именно данная разработка послужила поводом для создания в АлтГТУ центра "Медицина и электроника" в 1993 году. Уже в центре в исходный вариант комплекса был добавлен блок для проведения спирометрических исследований. На его основе была разработана методика для автоматического определения панаэробного обмена, применяемая при обследовании спортсменов и рабочих тяжелых профессий на профпригодность (горняков, металлургов и т.д.), получившая диплом на проходившей в Кузбассе на выставке "Интермед-2005".



Рисунок 2 – Автоматизированный диагностический комплекс ЭФКР-4

Поскольку в связи с введением дорогостоящих и протяженных по времени процедур лицензирования деятельности в области медицинского приборостроения и сертификации изделий медицинской техники заниматься разработкой новой медицинской аппаратуры стало проблематично, то в конце первого десятилетия этого тысячелетия в центре начались работы по разработке систем, далеких от медицины.

В частности, в 2000-х годах был разработан целый ряд устройств для охранно-пожарной сигнализации, позволяющих вырабатывать сигнал тревоги еще до проникновения злоумышленника в охраняемое помещение. При непосредственном участии сотрудников лаборатории в 2000 году проведена первая международная научно-техническая конференция "Измерение, контроль, информатизация", которая в этом году проходит

уже в 19-й раз. Примерно в это же время были начаты разработки по созданию систем технического мониторинга. В частности, сотрудники фирмы совместно с компанией Electronic Measurements Systems Corporation (Toronto, Ontario, Canada) приняли участие в создании информационных систем коммерческого учета потребления тепловой энергии для ряда теплоэлектростанций Кемеровской области. Впоследствии полученные знания и опыт были использованы для создания в 2010 году подобной системы учета энергоресурсов АлтГТУ, в которую были добавлены в исследовательских целях функции проведения экологического мониторинга (метеонаблюдений). Работу данной системы, но уже с существенным сокращением выполняемых функций, можно наблюдать и сегодня на сайте <http://abc.altstu.ru/index.php?mh=2>. Именно работы по данным направлениям, отраженные в публикациях [4-8] и послужили основой для открытия при АлтГТУ в 2005 году лаборатории ИИС.

В первом десятилетии нового века в рамках данной лаборатории проводился целый ряд исследований, направленных на совершенствование аппаратного обеспечения созданной системы мониторинга университетского кампуса, подробно описанных в [9-12]. Большой объем исследований был посвящен также развитию методов расчета и проектирования подобных систем, в частности методов моделирования работы распределенных вычислительных систем [13-14], методов расчета потенциальной точности средств измерений и нахождения интервальных оценок по результатам наблюдений [15-18], а также методов компактной передачи и хранения результатов мониторинга и выявления в регистрируемых сигналах аномальных процессов и нештатных ситуаций контролируемой системы [19-24]. Именно в этом направлении и видится дальнейшее развитие проводимых в лаборатории работ. Смещение акцента в деятельности лаборатории на проведение фундаментальных исследований во многом объясняется тем, что основные результаты достигаются силами штатных сотрудников вуза, а студенты из-за слабой школьной подготовки и сокращения срока обучения полноценно могут заниматься исследовательской деятельностью только на выпускном курсе. При этом наиболее способные студенты начинают работать по специальности уже на младших курсах и у них не остается времени помимо учебы заниматься еще и научной работой. Остается лишь надеяться, что в перспективе улучшение экономической ситуации в стране и в системе образования, равно как и улучшение демографической ситуации позволит получать больший эффект от участия студентов в научной работе.

Литература. 1. Госьков, П.И. Применение нетипового включения фотодиодной матрицы в телевизионных системах/ П.И. Госьков,

А.Г. Якунин, П.Ю. Гуляев, М.А. Царегородцев // Техника кино и телевидения. 1987. – № 6. – С. 32. **2.** Госьков, П.И. Универсальный преобразователь изображений ПИУ-2/П.И. Госьков, П.Ю. Гуляев, А.Г. Якунин // Приборы и техника эксперимента. – 1987. – № 3. – С. 91. **3.** Гордиенко Г.Ю., Попов А.Н., Тушев А.Н., Якунин А.Г. Автоматизированные диагностические комплексы серии ЭФКР/ Г.Ю. Гордиенко, А.Н. Попов, А.Н. Тушев, А.Г. Якунин // Приборы и техника эксперимента. – 1995. – № 2. – С. 207. **4.** Сучкова, Л.И. Система оперативного автоматизированного контроля потребления энергоресурсов и инструментальные средства ее реализации/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 2. С. 52-56. **5.** Береговой, В.И. Интегрированная система инфо-коммуникаций и безопасности университета/ В.И. Береговой, Е.Г. Боровцов, Л.И. Сучкова, О.И. Хомутов, А.Г. Якунин // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация Материалы Шестой Международной научно-технической конференции. – 2005. – С. 135. **6.** Сучкова, Л.И. Реализация прототипа системы контроля процессов жизнеобеспечения университетского кампуса / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, Р.В. Кунц // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 5 (93). – С. 153-157. **7.** Сучкова Л.И., Хуссейн Х.М., Якунин М.А., Якунин А.Г., Юрченко А.В. Многоточечная система дистанционного мониторинга пространственно-распределенных динамических процессов/ Л.И. Сучкова, Х.М. Хуссейн, М.А. Якунин, А.Г. Якунин, А.В. Юрченко // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 95-101. **8.** Hussein, H.M. Design and implementation systems for weather and technology process monitoring/ H.M. Hussein, R.V. Kuntz, L.I. Suchkova, A.G. Yakunin // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 1-1 (77). – С. 210-214. **9.** Сучкова, Л.И. Особенности аппаратной реализации систем оперативного контроля энергоресурсов/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, А.В. Юрченко // Контроль. Диагностика. 2012. – № 13. – С. 153-157. **10.** Шолкин, А.В. Разработка метода оперативного контроля и учёта потребления электроэнергии с расширенным динамическим диапазоном/ А.В. Шолкин, Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 230-234. **11.** Шолкин, А.В. Совершенствование аппаратного обеспечения систем оперативного контроля и учета потребления электроэнергии/ А.В. Шолкин, Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Ползуновский альманах. – 2010. № 2. – С. 112-115. **12.** Плотников, А.Д. Разработка микроконтроллерного устройства для регистрации параметров воздушных потоков/ А.Д. Плотников, Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация Материалы Тринадцатой Международной научно-технической конференции. – 2012. – С. 134-138. **13.** Бочкарева, Е.В. Применение имитационного моделирования для исследования процессов сбора и обработки данных микроконтроллерами уст-

ройствами/ Е.В. Бочкарева, Л.И. Сучкова, А.И. Харламов, А.Г. Якунин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2009. – Т. 3. – № 80. – С. 158-165. **14.** Бочкарева, Е.В. Имитационное моделирование процессов сбора и обработки данных в распределенных вычислительных системах / Е.В. Бочкарева, Л.И. Сучкова, А.И. Харламов, А.Г. Якунин // Ползуновский вестник. – 2010. – № 2. – С. 6-10. **15.** Сучкова, Л.И. Применение интервальных оценок в приборах и методах контроля для выделения информационных параметров квазидетерминированных сигналов/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Вестник Югорского государственного университета. – 2011. – № 2. – С. 69-81. **16.** Сучкова, Л.И. Применение модели ϵ -слоя для повышения надежности синтеза и анализа контрольно-измерительных устройств/ Л.И. Сучкова, А.Н. Тушев, А.Г. Якунин // Надежность. – 2003. – № 2. – С. 41. **17.** Сучкова Л.И. Метод E -областей оценки состояния объекта контроля в линейном приближении модельной функции/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 2 (28). – С. 147-151. **18.** Якунин А.Г. Оценка возможности экспериментального определения параметров модели ϵ -слоя// В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы второй Международной научно-технической конференции. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. 2001. – С. 54-56. **19.** Сучкова Л.И. Интервальный метод идентификации нештатных ситуаций в системах оперативного контроля/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Глобальный научный потенциал. 2012. № 11. – С. 72-74. **20.** Mogahed, H. A comparison of data compression methods for solving problems of temperature monitoring/ Hussein Mogahed H., A. Yakunin, L. Suchkova // В сборнике: MATEC Web of Conferences 7. Сер. "7th Scientific Conference with International Participation "Information-Measuring Equipment and Technologies", IME and T. – 2016" 2016. – С. 01076. **21.** Сучкова, Л.И. Особенности проектирования баз данных для систем температурного мониторинга и учета энергоресурсов/ Л.И. Сучкова, А.В. Шолкин, А.Г. Якунин // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы XII Международной научно-технической конференции. – 2011. – С. 41-45. **22.** Hussein, H.M. Storage space saving for database in weather monitoring system/ H.M. Hussein, A.G. Yakunin // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы XIV Международной научно-технической конференции. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – 2013. – С. 20-24. **23.** Hussein, H.M. Storage space saving for database in weather monitoring system using data difference techniques/ H.M. Hussein, A.G. Yakunin, L.I. Suchkova // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы XVII международной научно-

технической конференции. – 2016. – С. 34-38. **24.** Hussein, H. Sh. Detection of regularity violations of cyclic processes in a temperature monitoring system using patterns form / H.Sh. Hussein, A.G. Yakunin // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Математика и физика. 2015. – Т. 8. – № 2. – С.157-164.

Реквизиты для справок: *Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, АлтГТУ, ФИТ, д.т.н., проф. Якунину А.Г., тел. +7(3852) 290-786*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

А.Е. РОГАШОВ, С.П. ПРОНИН

Бесплатформенные инерционные навигационные системы (БИНС) на волоконно-оптических гироскопах должны работать под водой, на суше, в воздухе, при низких и высоких температурах, при сильных магнитных полях и т.д., при этом выдавая информацию с высокой точностью (0,001 град/час). Для тестирования БИНС используются различные установки, моделирующие вероятные условия эксплуатации прибора. В их число входят: термо- и барокамеры, стенды, моделирующие бортовую и килевую качку, вибрационные и ударные стенды, установки имитации движения при температурных воздействиях.

Тестирование и поиск брака являются неотъемлемой частью жизненного цикла изделия. По полученным в ходе испытаний данным судят об исправности или неисправности изделия. Если неисправность имела место быть, то находят её причину и устраняют [1].

По результатам исследования в статье [2] был сделан вывод, что при возникновении трения между элементами конструкции в процессе испытания навигационной системы, вызванного изменением температуры в термокамере, перед моментом останова ($22^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$), наблюдается резкое увеличение степени рассеивания результатов относительно среднего значения (СКО). На рис. 1 представлен график зависимости изменения скорости вращения ротора неисправной навигационной системы (горизонтальная линия) и температуры (нелинейная функция) внутри термокамеры в течение 24 часов.

На графике останова характеризует резкая ступенька. По оси абсцисс время отложено в секундах. Исследование сигнала проведено в диапазоне изменения температуры от $+20^{\circ}\text{C}$ до -5°C .

Целью работы является исследование информационных сигналов в навигационной системе по всему диапазону изменения температуры от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$.

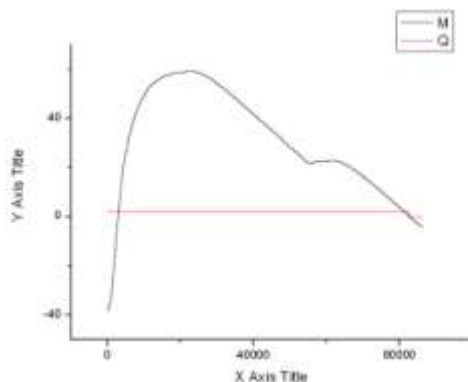


Рисунок 1 – График изменения скорости вращения ротора неисправной навигационной системы и температуры внутри термокамеры

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

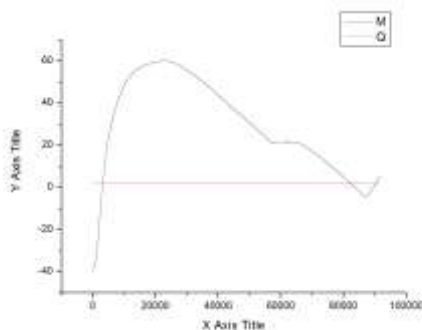


Рисунок 2 – График изменения скорости вращения ротора исправной навигационной системы и температуры внутри термокамеры

Исследование сигнала, полученного в ходе испытания исправного прибора, производили в течение всего времени испытания, а не момента останова, как было описано в статье [2]. Для этого на графике изменения скорости (рис. 2) были выбраны ключевые интервалы (100 отчетов каждые десять градусов) на основе которых рассчитаны значения параметров по формулам (1) – (3) [2].

Формула для расчета среднего значения имеет вид:

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

где n – число значений в выборке, v_i – мгновенная скорость на данном интервале времени.

Формула для расчета СКО:

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

Формула для расчета доверительного интервала:

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

где $t(P, k)$ – критерий Стьюдента, при доверительной вероятности $P = 0,95$ и количестве степеней свободы: $k = n - 1$ [3].

В результате выполненных расчетов построен график изменения СКО сигнала, полученного в ходе испытания исправной навигационной системы, от температуры (рис. 3).



Рисунок 3 – Зависимость СКО от температуры

Как видно из рис. 2, в ходе испытания останов не произошел, но при анализе полученного сигнала (рис. 3) наблюдается резкое увеличение СКО на интервале температур от 22°C до 0°C.

Выводы. На основе полученных данных и сопоставления с предыдущим исследованием можно сделать заключение, что в диапазоне изменения температуры от 22°C до 0°C наблюдается закономерное увеличение СКО, т.е. существенные изменения скорости вращения ротора. На изменения скорости могут влиять: вязкость используемого масла и (или) уве-

личение трения между узлами при изменении температуры внешней среды.

Литература. 1. Аврутов В.В. Испытания инерциальных приборов: Учебное пособие. – К.: НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», 2016. – 205с. 2. Гопанков Д.Н., Кондрашкин Г.Е., Пронин С.П. «Исследование качества привода вращения ротора» / Измерение, контроль, информатизация: материалы XVII международной научно-технической конференции. /под ред. Л.И. Сучковой. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – 277 с. 3. 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.

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*

ОБ ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ШУМОВ И ПОМЕХ

А.Г. ЯКУНИН

Вопросам оценки параметров сигнала, наблюдаемого на фоне помех, посвящено большое число учебников, монографий и других научных работ, включая такие классические, как [1-2]. Однако классический подход предполагает, что наблюдаемая реализация сигнала представляет собой аддитивную смесь полезного сигнала и шума, модель которого описывается случайным процессом, статистические свойства которого известны, либо могут быть определены из наблюдаемого сигнала [3]. Подобный подход вполне оправдан для целого ряда случаев, в том числе для радиолокационных систем в условиях отсутствия специально генерируемых помех. Но во многих практических применениях такая модель не работает, так как сопровождающие сигнал шумы и помехи во время наблюдения не проявляют статистических свойств. Типичным примером таких сигналов являются оптические изображения, получаемые от подвижного объекта на фоне «застывших» во время наблюдения облаков или даже от объекта, наблюдаемого через облака. Подобные ситуации могут возникать и для аудиосигналов, и при регистрации биоэлектрических потенциалов. Для таких сигналов часто оказывается приемлемым применение адаптивных методов и иных эвристических алгоритмов [4-6], если помеха хотя и не стационарна, но подчиняется каким-либо иным закономерностям. Например, когда помеха представляет собой многократно отраженный эхоподобный сигнал [7].

Все перечисленные работы направлены на повышение эффективности выделения из сигнала информационной составляющей. Под эффективностью в данном случае следует, в первую очередь, понимать повышение точности измерения, либо уменьшение вероятностей появления ошибок первого и/или второго рода. Применительно же к решению задачи измерения, то есть параметрического оценивания, уместнее говорить об уменьшении погрешностей измерения. Однако ни одна из вышеприведенных работ для нестационарных сигналов не в состоянии ни оценить потенциальную точность, то есть минимально возможную теоретически достижимую погрешность разрабатываемых устройств, ни конкретную погрешность, имеющую место при конкретном измерении. На решение подобных задач направлена теория интервального анализа [8-11]. Однако анализ имеющихся публикаций показывает, что имеющиеся методы ориентированы на применение для тех случаев, когда искомая величина находится путем вычислений, выполняемых над конечным, достаточно небольшим числом отсчетов, полученных непосредственно в результате измерения и которые можно трактовать как дискретную реализацию некоторого сигнала.

Обобщение методов интервального анализа на случай континуальных сигналов можно найти в [12-14]. Суть предлагаемого в этих работах подхода состоит в том, что наблюдаемый в процессе измерения сигнал представляется суммой его полезной составляющей, описываемой квазидетерминированной модельной функцией, и аддитивной фоновой составляющей, представляющей собой смесь шумов и помех (в том числе и мультипликативных). Она описывается ансамблем произвольных функций, на которые накладывается единственное условие: на интервале наблюдения они должны находиться в пределах некоторого биполярного ε – слоя. В зависимости от характера и типа помех этот слой может быть как постоянной, так и переменной толщины. Более подробно методологические вопросы, связанные с определением границ ε – слоя, изложены в [15].

Задавшись некоторым значением вектора параметров квазидетерминированной компоненты, можно найти предельно возможную соответствующую этому значению минимаксную интервальную оценку интервальной погрешности (по сути - доверительный интервал с близкой к единице доверительной вероятности) по следующему алгоритму.

1. Сверху и снизу от модельной функции f_m с заданным значением вектора входящих в нее параметров проводятся и фиксируются положения верхних и нижних границ f^+ и f^- ее возможного изменения, отстоящие от модельной функции на толщину ε – слоя.

2. Варьируя значения всех входящих в модельную функцию параметров так, чтобы эта функция не выходила за заданные на предыдущем шаге фиксированные границы, находят среди этих значений такие, при

которых контролируемый (измеряемый) параметр принимает максимальное, или, наоборот, минимальное значение. Эти значения и будут задавать его интервальную оценку.

3. Если измеряемых параметров несколько, то процедуру поиска экстремума (п.2) повторяют.

Очевидно, что, когда значение измеряемого параметра находится на одной из границ его интервальной оценки, модельная функция будет касаться одной из границ, а возможно, и обеих границ ее предельно допустимых вариаций, заданных на первом шаге. Это позволяет на втором шаге при поиске экстремума искать целевую функцию как корень решения одного из уравнений $f_m = f^+$ или $f_m = f^-$ относительно измеряемого параметра.

Рассмотренный алгоритм позволяет находить максимально возможный доверительный интервал погрешности измерения параметра при самых неблагоприятных условиях наблюдения. Фактическая погрешность по результатам наблюдения конкретной реализации сигнала может оказаться существенно меньше и даже обратиться в нуль (так называемая сверхэффективная оценка). При наблюдении такой реализации стратегия поиска интервальной оценки очень похожа на уже описанный алгоритм и отличается от него тем, что границы f^+ и f^- откладываются уже не от модельной функции, а от наблюдаемой реализации, причем вверх откладывается отрицательная часть ε – слоя, а вниз – положительная.

Описанные алгоритмы были применены при проектировании и практической реализации систем технического и экологического мониторинга [16-21]. Помимо нахождения интервальных оценок контролируемых параметров, их применение позволило более точно выявлять возникающие в системах нештатные ситуации по ε – областям, соответствующих областям возможных вариаций модельной функции в конкретной реализации [22-25]. Анализ получаемых результатов оказался также полезным при разработке алгоритмов уплотнения передаваемых и хранимых в системах мониторинга данных [26-30], а также при разработке методов выявления аномалий в апериодических и циклических процессах [31-33].

Литература. 1. Ван Трис, Г. Т.1+Т.3 Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Т. Ван Трис. – М.: Советское Радио, 1972. 2. Левин, Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая./ Б.Р. Левин М.: Советское радио, 1974. - 503с. 3. Сосулин, Ю.Г. Теория обнаружения и оценки стохастических сигналов/ Ю.Г. Сосулин. – М.: Советское радио, 1978. 320 с. 4. Брайнина, И.С. Адаптивная цифровая обработка сигналов связи с использованием прикладной теории выбросов случайных процессов/ И.С. Брайнина. - М.: Радио и связь, 2002. – 436с. 5. Польшин, О.В. Применение методов теории оптимальной нелинейной фильтрации марковских случайных процессов для решения задач обработки нестационарных сигналов/О.В. Польшин. Диссертация на соиска-

ние ученой степени к.ф.м.н. по специальности 01.04.01.-Н.Новгород, 2008.– 132 с. **6.** Королёв, А.В. Методы обработки нестационарных сигналов, основанные на скрытых марковских моделях /Королёв А.В. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.12.04.- Н.Новгород, 2008.– 186 с. **7.** Джиган, В.И. Алгоритмы адаптивной фильтрации нестационарных сигналов/ В.И. Джиган. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. по специальности 05.12.04.- М.: 2008. – 342 с. **8.** Moore, R.E. Interval analysis / R.E.Moore. – Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1966. **9.** Moore, R.E. Introduction to interval analysis / R.E.Moore, R.B.Kearfott, M.J.Cloud – Philadelphia: SIAM, 2009. **10.** Moore, R.E. Methods and applications of interval analysis / R.E.Moore. – Philadelphia: SIAM, 1979. **11.** Rodionova, O.Ye. Principles of Simple Interval Calculations/ O.Ye.Rodionova, A.L.Pomerantsev// In Book: Progress in Chemometrics Research, Nova Science Publishers. - New York, 2005. - pp. 43-64. **12.** Якунин, А.Г. Выбор квантификационных критериев для синтеза и анализа ОЭП многопараметрических квазидетерминированных оптических сигналов / А.Г. Якунин //Оптические сканирующие устройства и приборы на их основе, ч.1: Всес.конф. Тез.докл. – Барнаул, Алтайский политехнический институт, 1986. - С.169-170. **13.** Сучкова, Л.И. Применение интервальных оценок в приборах и методах контроля для выделения информационных параметров квазидетерминированных сигналов/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Вестник Югорского государственного университета. –2011. – № 2. – С. 69-81. **14.** Сучкова Л.И. Метод Е-областей оценки состояния объекта контроля в линейном приближении модельной функции/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 2 (28). – С. 147-151. **15.** Якунин А.Г. Оценка возможности экспериментального определения параметров модели ϵ - слоя// В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы II Международной научно-технической конференции. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. 2001. – С. 54-56. **16.** Сучкова, Л.И. Система оперативного автоматизированного контроля потребления энергоресурсов и инструментальные средства ее реализации/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – № 2. – С. 52-56. **17.** Сучкова, Л.И. Особенности аппаратной реализации систем оперативного контроля энергоресурсов/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, А.В. Юрченко // Контроль. Диагностика. 2012. – № 13. –С. 153-157. **18.** Hussein, H.M. Design and implementation systems for weather and technology process monitoring/ H.M. Hussein, R.V. Kuntz, L.I. Suchkova, A.G. Yakunin //Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 1-1 (77). – С. 210-214. **19.** Береговой, В.И. Интегрированная система инфо-коммуникаций и безопасности университета/ В.И. Береговой, Е.Г. Боровцов, Л.И. Сучкова,

О.И. Хомутов, А.Г. Якунин // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация Материалы Шестой Международной научно-технической конференции. – 2005. – С. 135. **20.** Сучкова, Л.И. Реализация прототипа системы контроля процессов жизнеобеспечения университетского кампуса / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, Р.В. Кунц // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 5 (93). – С. 153-157. **21.** Сучкова, Л.И. Многоточечная система дистанционного мониторинга пространственно-распределенных динамических процессов/ Л.И. Сучкова, Х.М. Хуссейн, М.А. Якунин, А.Г. Якунин, А.В. Юрченко // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 95-101. **22.** Сучкова, Л.И. Применение модели ϵ -слоя для повышения надежности синтеза и анализа контрольно-измерительных устройств/ Л.И. Сучкова, А.Н. Тушев, А.Г. Якунин // Надежность. – 2003. – № 2. – С. 41. **23.** Сучкова, Л.И. Интервальный метод идентификации нештатных ситуаций в системах оперативного контроля/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Глобальный научный потенциал. – 2012. № 11. – С. 72-74. **24.** Сучкова, Л.И. Развитие метода Е-слоя для нахождения интервальных оценок параметров квазидетерминированных процессов/ Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Вестник Самарского государственного университета. – 2013. – № 9-2 (110). – С. 25-30. **25.** Сучкова Л.И. Нахождение интервальных оценок параметров квазидетерминированных процессов с применением модели Е-слоя/ Сучкова, А.Г. Якунин // В сборнике: Актуальные проблемы математики и механики материалы и доклады Всероссийской научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения доктора физико-математических наук, профессора Г.И. Быковцева. – 2013. – С. 151-152. **26.** Mogahed, H. A comparison of data compression methods for solving problems of temperature monitoring/ Hussein Mogahed H., A. Yakunin, L. Suchkova // В сборнике: MATEC Web of Conferences 7. Сер. "7th Scientific Conference with International Participation "Information-Measuring Equipment and Technologies", IME and T. – 2016" 2016. – С. 01076. **27.** Hussein, H.M., Yakunin A.G. Data differencing method to optimize data storing in weather monitoring system/ H.M. Hussein, A.G. Yakunin // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 65. **28.** Hussein, H.M. Storage space saving for database in weather monitoring system/ H.M. Hussein, A.G. Yakunin // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы XIV Международной научно-технической конференции. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – 2013. – С. 20-24. **29.** Hussein, H.M. Storage space saving for database in weather monitoring system using data difference techniques/ H.M. Hussein, A.G. Yakunin, L.I. Suchkova // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы XVII международной научно-технической конференции. – 2016. – С. 34-38. **30.** Сучкова, Л.И. Особенности проектирования баз данных для систем температурного мониторинга и учета энерго-

ресурсов/ Л.И. Сучкова, А.В. Шолкин, А.Г. Якунин // В сборнике: Измерение, контроль, информатизация. Материалы XII Международной научно-технической конференции. – 2011. – С. 41-45. **31.** Hussein, H. Sh. Detection of regularity violations of cyclic processes in a temperature monitoring system using patterns form / H.Sh. Hussein, A.G. Yakunin // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Математика и физика. – 2015. – Т. 8. – № 2. – С.157-164. **32.** Хуссейн, Ш.А.Х.М. Методы выявления аномалий при контроле динамических процессов природных и техногенных объектов/ Ш.А.Х.М. Хуссейн, А.Г. Якунин // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2015. – № 1 (65) . – С. 79-83. **33.** Якунин А.Г. Об идентификации состояния объекта по данным термомониторинга/А.Г. Якунин// В сборнике: Измерение, контроль, информатизация Материалы XIV международной научно-технической конференции. – 2013. – С. 9-11.

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, АлтГТУ, ФИТ, д.т.н., проф. Якунину А.Г., тел. +7(3852) 290-786

2 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЕЛИЧИНЫ УГЛА ПРИ ВЕРШИНЕ КОНИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА ПЕНЕТРАЦИОННОГО ПРИБОРА – ТВЕРДОМЕРА

В.А. ГАНЖА, А.В. ГАНЖА, А.С. САТЫШЕВ

На стадии проектирования, а также при строительстве и последующем содержании автомобильных дорог различных категорий, в обязательном порядке проводится полевой контроль материала несущих оснований, материала слоев дорожных одежд, материала 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.

Современное состояние вопроса. Для реализации различных методов полевых испытаний грунтов и покрытий из уплотненного снега, рядом нормативных документов [1, 3] предписано использование приборов зондирующего и пенетрационного действия с наконечниками конической формы, но с углами при их вершине, различной величины. Значения данного параметра, приводимые в научно-технической литературе, также разнятся [2, 4]. При этом ни в одном из упомянутых источников не приводится сведений об обосновании выбора этих значений.

Цель работы: обоснование, в результате анализа нормативных документов и литературно-патентных источников, величины угла при вершине конического наконечника пенетрационного прибора – твердомера, предназначенного для контроля прочности (несущей способности) дорожных и аэродромных покрытий из уплотненного снега.

Основные результаты аналитической работы авторов. Инденторы конической формы, приборов статического и динамического зондирования грунтов, как отечественные [1], так и зарубежные [2], имеют угол при вершине конуса величиной 60° .

Обоснование этой величины, может быть следующим. Основным значимым фрикционным показателем грунтов различных категорий, препятствующим проникновению в них иного, более твердого и не получающего остаточных деформаций, тела (в соответствии с определением твердости или прочности материала) принимается угол его внешнего трения, т.е. трения грунта о металл (металла о грунт).

Для того чтобы результаты испытаний грунтов пенетрацией и зондированием были достоверными, необходимо, чтобы значение величины угла φ между образующей конуса наконечника и его главной осью (рис. 1) было максимально близко значению угла внешнего трения исследуемого грунта.

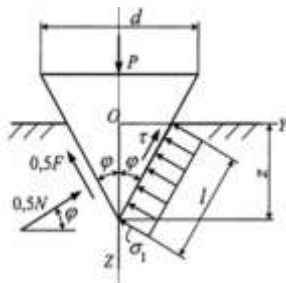


Рисунок 1 – Расчетная схема сил действующих на заглубленную часть конического индентора при его взаимодействии с испытуемой средой

Значения коэффициента трения скольжения стали о грунт для наиболее распространенных видов грунтов, подлежащих разработке различными рабочими органами строительных дорожных машин приведены в работе [5]. Среднее значение указанного коэффициента для всех видов грунтов составит 0,56. Известно, что коэффициент трения скольжения стали о грунт определяется следующим выражением:

$$f = tg\varphi \quad (1)$$

Приняв угол φ между образующей конуса и его главной осью (рис.1), равным углу трения стали о грунт, из выражения (1) находим:

$$\varphi = \arctg 0.56 = 29,24$$

Умножая полученный результат на 2, получаем 58,48. Округлив полученный результат, получаем искомые 60° .

Иного подхода требует обоснование выбора величины угла при вершине конуса индентора прибора для контроля прочности (несущей) способности уплотненного снежного покрова и прочных снежно – ледяных отложений (СЛО) [3, 4, 6].

Одним из первых таких приборов, получивших практическое применение, стал твердомер НИАС, разработанный И.В. Крагельским и описанный им в работе [4]. Однако и в этом случае автор не дает четкого обоснования выбора величины угла при вершине конуса наконечника. В предложенных им конструкциях приборов, описанных в работе [4], использовались конические наконечники с углом и в 30° , и в 45° . Судя по всему, эти значения выбирались эмпирически, при большом количестве опытных наблюдений. В современной версии твердомера НИАС [3], являющегося прибором-аналогом нового твердомера [6], величина этого

параметра составляет $34^{\circ}12'$. Каким же образом можно обосновать выбор этого значения?

В отличие от грунтов, значения коэффициента внешнего трения снега по стали очень малы: 0,05 – 0,078 [8]. Для пресноводного льда значение этого коэффициента составляет 0,065 [7]. Это свидетельствует о незначительном трении, не оказывающем существенного противодействия индентору, погружаемому в массив исследуемого материала. В этом случае, основным значимым фрикционным показателем уплотненного снега и прочных СЛО, противодействующим проникновению в них конического индентора, следует принимать коэффициент (угол) внутреннего трения снега.

Угол внутреннего трения такой среды целесообразно определять, исходя из ее прочностных характеристик: предела прочности на растяжение и предела прочности на одноосное сжатие. Имея численные значения этих параметров можно расчетным путем получить величину угла φ , а также при необходимости и величину сцепления материала C_0 .

Ориентируясь на предполагаемое использование разрабатываемого прибора применительно к сильно уплотненному снегу и прочным СЛО, задаемся пределами прочности пресноводного льда на сжатие $\sigma_{сж}$ и растяжение σ_p . Предел прочности на растяжение σ_p , при температуре воздуха от 0 до минус 10°C составляет 1,2 МПа. Предел прочности льда при сжатии в направлении, перпендикулярном к осям кристаллов, при температуре от 0 до минус 2°C составляет $\sigma_{сж} = 2,3$ МПа [7].

Численное значение угла φ можно получить из следующего выражения:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} \geq \sin \varphi, \quad (2)$$

где σ_1 и σ_3 – главные нормальные напряжения, равные в данном случае соответственно σ_p и $\sigma_{сж}$.

Подставляя в выражение (2) численные значения напряжений, получаем: $\sin \varphi \geq 0,314 \Rightarrow \varphi = 18,3^{\circ}$.

Следовательно, величина угла при вершине конуса наконечника $2\varphi = 36,6^{\circ} = 36^{\circ}36'$ – значение, очень близкое, значению, заявленному в характеристиках прибора – аналога (твердомера НИАС) $34^{\circ}12'$.

Фактическая величина угла при вершине конуса наконечника твердомера предлагаемой авторами конструкции [6] составляет 35° .

Закключение. Учитывая основные результаты аналитической работы авторов, изложенные в данной статье, можно предположить, что использованием в твердомере предлагаемой конструкции конического наконечника (индентора) с указанным значением угла при его вершине, будут обеспечиваться достоверные значения показателей прочности (несущей

способности) как покрытий из уплотненного снега, так и покрытий из прочных СЛЮ.

Литература. 1. ГОСТ 19912–2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – Введ. 11.01.2013. – М. : Изд – во стандартов, 2012. – 23 с. **2.** Болдырев Г.Г. Испытания грунтов методом пенетрации. Часть 2 / Г.Г. Болдырев // Инженерные изыскания. – 2010. – № 12. – С. 30 – 42. **3.** Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ – 94). – М. : Воздушный транспорт, 1995. – 232 с. **4.** Крагельский, И.В. О методике определения твердости и плотности снеговых покрытий / Физико-механические свойства снега и их использование в аэродромном и дорожном строительстве: сб. работ аэродромно-дорожной комиссии СОПС по ред. Д.Г. Виленского. – М., Л. : Изд – во АН СССР, 1945. – С. 61–66. **5.** Зеленин, А. Н. Машины для земляных работ / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – М. : Машиностроение, 1975. – 424 с. **6.** Ганжа В.А. Модернизированный твердомер для контроля прочности аэродромных покрытий содержащихся под слоем уплотненного снега / В.А. Ганжа [и др.] // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVII международной научно-технической конференции. / под ред. Л.И. Сучковой. – г. Барнаул, 19 мая 2016 г. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. С. 47-50. **7.** Богородский, В. В. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии / В. В. Богородский, В. П. Гаврило. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 384 с. **8.** Шалман, Д. А. Снегоочистители / Д. А. Шалман. – Л. : Машиностроение, 1973. – 216с.

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.

АНАЛИЗ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ НЕФТИ

Ю.В. СЕМИНА, В.В. НАДВОЦКАЯ, И.Е. КИБЯКОВ

Нефтяная добыча и переработка является развивающейся динамической отраслью, требующей постоянного совершенствования технологий, внедрения инновационных разработок и поиска новых оптимальных решений. Добывающие предприятия располагаются на обширной территории, имея сложную сеть взаимодействия технологических узлов и процессов, требующих автоматизации, мониторинга и своевременного обслуживания. Анализ текущего состояния и развития нефтяной отрасли показывает, что проблемы возникают ещё на этапе разработки месторождения, обусловленные особенностью геологии нефтеобразования. Наше

внимание привлекла проблема отслеживания и поддержания давления рабочего агента на постоянном уровне, поднимающего нефть из пласта месторождения на поверхность.

Объектом исследования является нагнетательная скважина поддержания пластового давления нефтяного месторождения. Система поддержания пластового давления (ППД) является комплексом технологического оборудования различного назначения, в том числе подготовки, транспортировки, закачки воды (рабочего агента) в пласт месторождения для поддержания на постоянном уровне пластового давления. Информация о текущем пластовом давлении характеризует состояние месторождения: им определяется дебит скважин, режим разработки залежи, внедрение в эксплуатацию скважин и режим обводнения [1].

Цель работы – анализ методик измерения пластового давления нагнетательных скважин в процессе добычи нефти.

Схема функционирования системы поддержания пластового давления включает в себя оборудование для подготовки воды, систему трубопроводов и распределительных блоков (ВРБ), станции по закачке воды (КНС), систему нагнетательных скважин (рис.1). Рабочий агент направляется из блочной станции по водораспределительным блокам, по водоводам высокого давления и нагнетательным линиям скважин [1].

Организация мониторинга начального и текущего пластового давления определяется количеством замеров в скважинах по намеченному графику (в соответствии с определенной периодичностью составления карт изобар).

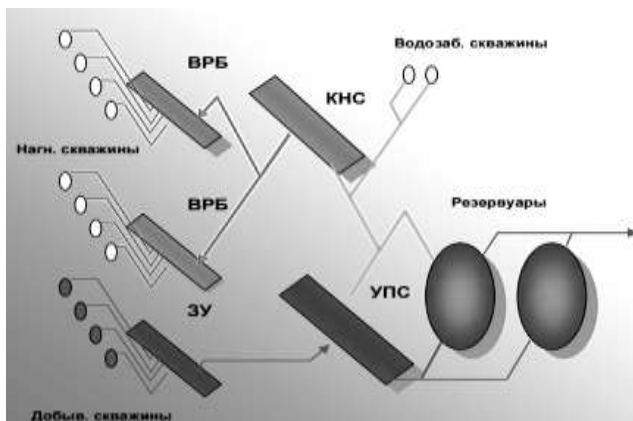


Рисунок 1 – Схема функционирования системы поддержания пластового давления

Измерения производятся в нагнетательных, газовых, нефтяных, пьезометрических скважинах, в действующих скважинах (вблизи залежи в

водоносной части пласта и оказавшихся за внешним контуром нефтеносности). Как правило, требуются большие сроки на исследование всего фонда скважин. Кроме того, некоторые скважины, как действующие, так и простаивающие, по техническим причинам не могут быть исследованы. Из числа пробуренных скважин выбирают только опорную сеть пригодных для исследования скважин, достаточно равномерно покрывающих все зоны залежи в реализуемой системе разработки [2].

Существуют различные методики измерения давления пласта. Для определения пластового давления нагнетательных скважин в процессе добычи нефти учитывают данные о следующих видах давлений:

- пластовое давление (при условии, что точка замера пласта не затронута воздействием соседних функционирующих скважин);
- начальное пластовое давление (замер производится в первой скважине, вскрывшей залежь, до нарушения её статического равновесия);
- статическое забойное давление (замер в скважине производится только по установлению в ней относительного статического равновесия);
- динамическое пластовое давление, иначе – замеренное на забое работающей скважины (забойное);
- динамическое пластовое давление в стадии разработки скважины или в условиях отсутствия статического равновесия.

В зависимости от характера насыщения пласта – нефть, газ или вода, назначения и способа эксплуатации скважины, выбирают способ определения пластового давления. В добывающих и простаивающих нефтяных скважинах, обводненных и нагнетательных, замер делают прямым способом – глубинный манометр опускают к середине толщины пласта. Если глубина спуска прибора ограничена, то замер будут производить на максимально возможной глубине, ниже которой плотность нефти по стволу скважины постоянна. Истинное значение пластового давления в таких скважинах определяют с учетом того, что давление в точке замера превышает давление насыщения, по следующей формуле:

$$P_{\text{пл}} = P_{\text{зам}} + (H - H_{\text{зам}})\rho_{\text{ж}}/102, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – средняя плотность жидкости в интервале между глубиной замера $H_{\text{зам}}$ и глубиной середины пласта H . /102 является поправкой, ее или вычитают при положении точки замера давления ниже условной плоскости, или прибавляют при её положении выше этой плоскости.

Классически величина пластового давления (в любой точке пласта) соответствует весу столба жидкости в скважине, уравнивающего это давление:

$$P_{\text{пл}} = h\rho g, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, h – высота столба жидкости, уравновешивающего пластовое давление; ρ – плотность жидкости в скважине.

Формула (2) показывает зависимость давления от изменения глубины, что в среднем составляет 0,1 МПа на 10 м. Высота h также называется пьезометрической высотой, до которой поднимается жидкость в скважине над вскрытым пластом. Абсолютным пластовым давлением можно считать величину давления, соответствующую пьезометрической высоте жидкости в скважине. В пьезометрических скважинах пластовое давление можно установить путем замера уровня рабочего агента или же замерить глубинным манометром [3].

Поскольку имеются очевидные сложности определения истинного пластового давления, то для его измерения обычно используют значение забойного давления, называя его пластовым. Но значения пластовых давлений нестатичны и неодинаковы в разных точках одной залежи. Они изменяются во времени в процессе разработки. На один пласт приходится ряд работающих скважин. Работу одной из скважин останавливают и замеряют давление на забое после уравнивания давления. Но соседние скважины продолжают работать и создавать динамику давления. Потребовалась бы остановка работы одновременно всех скважин, чего на практике не производят. Поэтому давления, замеренные в остановленных скважинах, условно принимают статическими пластовыми и величину текущего давления скважины оценивают именно по ним [4].

На практике при такой методике можно столкнуться с тем, что при стабильном показателе давления обводнения как такового нет. Такая методика подразумевает уже регулярные замеры работниками по поддержанию давления.

Заключение. В работе выполнено исследование процесса обводнения нефтяного пласта с целью поддержания пластового давления при поднятии нефти на поверхность. Результаты замеров давления в скважинах интерпретируются с помощью различных методик, учитывающих пластовое давление, начальное пластовое давление, статическое забойное давление, динамическое пластовое давление и т.д. Выбор оптимального расчетно-математического аппарата для прогнозирования гидродинамических показателей разработки пласта влияет на объем добычи нефти и на достижение максимально возможного конечного коэффициента нефтеотдачи [5]. Однако, существующие методики измерения пластового давления нагнетательных скважин не учитывают тот факт, что значения пластовых давлений нестатичны и неодинаковы в разных точках одной залежи. Поэтому дальнейшим этапом работы является разработка собст-

венной методики измерения пластового давления нагнетательных скважин, учитывающей величину давления у устья нагнетательной скважины.

Литература. 1. Neftegaz.RU, «Поддержание пластового давления (ППД) на нефтяных залежах» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://neftegaz.ru/science/view/1253-Podderzhanie-plastovogo-davleniya-PPD-na-neftyanyh-zalezah>. – Загл. с экрана. 2. Особенности проведения промысловых исследований в действующих скважинах [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/6378142>. – Загл. с экрана. 3. Мальцева, А.К. Геология нефти и газа и нефтегазоносные провинции / Мальцева А.К., Бакиров Э.А., Ермолкин В.И. и др. – Изд-во ГАНГ, 1998. – 240 с. 4. Пулькина Н.Э., Зими́на С.В. Геологические основы разработки нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие / Пулькина Н.Э., Зими́на С.В.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 203 с. 5. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. – 448 с.

Реквизиты для справок. Россия, 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, Алтайский государственный технический университет им. Ползунова, кафедра информационных технологий, к.п.н., доцент **Надвоцкая В.В.** nadvotskaya7@mail.ru, тел. 29-09-13.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОГО ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С РАЗЛИЧНОЙ ПЛОЩАДЬЮ ЭЛЕКТРОДОВ

Б.С. ПЕРВУХИН, В.Б. ЮШКОВА

Качество питьевой воды едва ли не самая актуальная проблема современности. Наряду с химическими методами определения качества воды очень широко распространены кондуктометрические методы. Суть кондуктометрических методов заключается в определении удельной электропроводности (УЭП) воды. Чистая вода характеризуется низкой УЭП. В связи с этим, повышение точности кондуктометрических методов является актуальной задачей.

Наиболее перспективными, экономически выгодными и достаточно простыми в реализации являются контактные методы измерения УЭП [1].

Контактный кондуктометрический метод характеризуется наличием систематической погрешности из-за гальванического контакта электродов с анализируемой жидкостью. Для уменьшения систематической погрешности необходимо определить параметры контактного первичного преобразователя в момент контакта с жидкостью. В этом поможет анализ электрической схемы замещения кондуктометрической ячейки. В работе

[2] рассматривалась довольно простая схема замещения ПИП с анализируемым раствором.

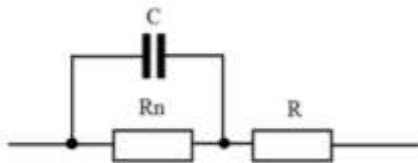


Рисунок 1 – Электрическая схема замещения первичного преобразователя
 R_n - суммарное поляризационное сопротивление электродов; C - суммарная емкость электродов; R - активное сопротивление анализируемой жидкости

Для определения параметров контактного первичного преобразователя использовалась переходная функция по току [2]:

$$g_{cpi}(t_{cpi}) = a + b \exp(-ct_{cpi}) \quad (1)$$

Для реализации данного метода форма напряжения питания должна иметь вид, представленный на рис. 2.

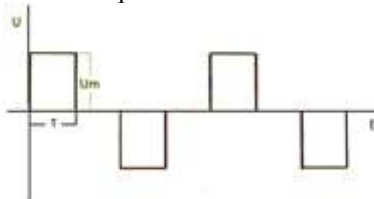


Рисунок 2 – Форма напряжения питания измерительной цепи

Длительность паузы должна быть не меньше длительности импульса, а длительность импульса должна обеспечивать начальные нулевые условия к началу следующего импульса.

Параметры ПИП связаны с коэффициентами аппроксимирующей функции следующими уравнениями:

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

Параметры первичного преобразователя, контактирующего с анализируемым раствором, можно найти, выполнив следующие действия [3]:

- 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, используя

соотношения (2).

Зная параметры первичного преобразователя, можно внести поправку в результат измерения УЭП, тем самым устраняя или уменьшая систематическую погрешность.

Данный метод был разработан для первичного преобразователя, имеющего электроды одинаковой площади. Если же площадь электродов существенно различается, то данный метод определения параметров первичного преобразователя неприменим. В работе (3) был подробно описан план разработки метода определения параметров первичного преобразователя с электродами, площадь которых имеет существенное различие.

Цель данной работы – разработка метода определения параметров контактного первичного преобразователя с различной площадью электродов.

Первым этапом разработки является разработка эквивалентной электрической схемы замещения первичного преобразователя. Данная схема должна учитывать нелинейность параметров электрохимического процесса на электродах ПИП. Учесть нелинейные эффекты возможно, если в принятую эквивалентную схему первичного контактного преобразователя ввести элементы, которые учитывают различные затраты энергии на окислительную и восстановительную электрохимические реакции. Разработанная эквивалентная схема замещения представлена на рис. 3.

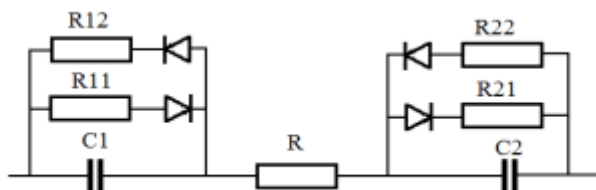


Рисунок 3 – Эквивалентная электрическая схема замещения первичного преобразователя с различной площадью электродов:

R_{11} и R_{21} - поляризационное сопротивление первого (R_{11}) и второго (R_{21}) при положительном потенциале первого электрода; R_{12} и R_{22} - поляризационное сопротивление первого (R_{12}) и второго (R_{22}) при отрицательном потенциале первого электрода; R - активное сопротивление анализируемой жидкости; C_1 и C_2 - емкости двойного электрического слоя первого и второго электродов

Суммарный импеданс при положительном полупериоде составит:

$$Z_+ = R + \frac{R_{11} - j\omega C_1 R_{11}^2}{1 + \omega^2 C_1^2 R_{11}^2} + \frac{R_{21} - j\omega C_2 R_{21}^2}{1 + \omega^2 C_2^2 R_{21}^2}. \quad (1)$$

Аналогично при отрицательном полупериоде:

$$Z_- = R + \frac{R_{12} - j\omega C_1 R_{12}^2}{1 + \omega^2 C_1^2 R_{12}^2} + \frac{R_{22} - j\omega C_2 R_{22}^2}{1 + \omega^2 C_2^2 R_{22}^2}. \quad (2)$$

В случае равенства площадей электродов первичного преобразователя R_{11} и R_{22} равны. Также равны R_{12} и R_{21} . В этом случае нелинейные явления в реакции первичного преобразователя не проявляются. В случае существенной разницы площадей электродов проявляются нелинейные явления на границе электрода с раствором. В импедансометрии электрохимических систем [4] принято, что при существенной разнице площадей электродов и тем самым разной плотности тока на электродах, электрохимический импеданс определяется импедансом электрода, имеющим существенно меньшую площадь. В этом случае эквивалентную электрическую схему замещения контактного первичного преобразователя с анализируемой жидкостью можно представить в виде, показанном на рис. 4.

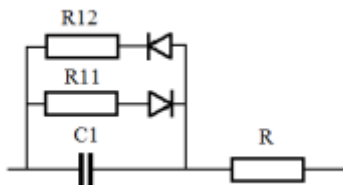


Рисунок 4 – Фрагмент схемы замещения первичного преобразователя (меньший по площади электрод)

В качестве одного из возможных методов анализа можно предложить методики, основанные на анализе переходных процессов в этой цепи. Для этого целесообразно использовать переходную проводимость первичного преобразователя (зависимости проводимости первичного преобразователя от времени) [2].

При положительном импульсе на электроде с меньшей площадью переходная проводимость будет равна:

$$g_1(t) = \frac{1}{R+R_{11}} + \frac{R_{11}}{R(R+R_{11})} \exp\left(-\frac{R+R_{11}}{RR_{11}C_1}t\right) \quad (3)$$

В свою очередь, при отрицательном импульсе проводимость на этом электроде связана с параметрами первичного преобразователя следующим образом:

$$g_2(t) = \frac{1}{R+R_{12}} + \frac{R_{12}}{R(R+R_{12})} \exp\left(-\frac{R+R_{12}}{RR_{12}C_1}t\right) \quad (4)$$

Для экспериментального определения зависимости проводимости первичного преобразователя от времени действия напряжения необходимо питать его переменным импульсным напряжением (рис. 2). Необходимо получить несколько пар значений мгновенного тока через первичный преобразователь и определить время для достижения этих значений отдельно для каждой полярности импульсного напряжения питания, а

затем аппроксимировать полученные экспериментальные значения зависимостями раздельно для каждой полярности импульсов напряжения питания:

$$g_1(t) = a_1 + b_1 \exp(-c_1 t), \quad (5)$$

$$g_2(t) = a_2 + b_2 \exp(-c_2 t),$$

Из выражений (3), (4) и (5) можно получить две системы уравнений для положительного и отрицательного импульсов напряжения питания. Решение систем уравнений позволит найти параметры первичного преобразователя с разной площадью электродов, что и являлось целью данной работы.

Литература. 1. Первухин Б.С. Развитие научно-методических основ проектирования кондуктометрических приборов контроля жидкостей и разработка технических средств их метрологического обеспечения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Барнаул 2012. 2. 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 3. Первухин Б.С., Предпосылки создания метода определения параметров контактного преобразователя с различной площадью электродов / Первухин Б.С., Афонин В.С., Юшкова В.Б., Материалы XVIII международной научно-технической конференции: Измерение, Контроль, Информатизация., 2017, стр.54-58. 4. Дамаскин Б.Б. Электрохимия/ Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. – 2-е изд., испр. И перераб. – М.: Химия, КолосС, 2006 – 672 с.: ил.

Реквизиты для справок: Россия, 656000, 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

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИНТЕНСИФИКАТОР ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ МЕЖДУ ПОТОКАМИ СРЕД С РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ

О.В. ЕВДУЛОВ, Д.К. КАДИРОВА, Р.Ш. КАЗУМОВ

В настоящее время актуальными становятся задачи исследования специальных технических средств для обеспечения интенсивной теплопередачи от источников с высокими тепловыми нагрузками к приемникам теплоты с целью выравнивания температурных уровней объектов. Данные вопросы особенно актуальны для утилизации теплоты, выделяемой при выполнении тех или иных технологических процессов на производстве, отводе теплоты от охлаждающих жидкостей твэлов ядерных реак-

торов и т.п. Теплообменные аппараты, осуществляющие данные функции, применяются в авиационной и космической технике, энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в холодильной и криогенной технике, в системах отопления и горячего водоснабжения, кондиционирования, в различных тепловых двигателях. С ростом энергетических мощностей и объема производства все более увеличиваются масса и габариты применяемой теплообменной аппаратуры. На их производство расходуется значительное количество легированных и цветных металлов. Уменьшение массы и габаритов теплообменных аппаратов является актуальной проблемой. Наиболее перспективный путь решения этой проблемы - интенсификация теплопередачи.

Одним из перспективных направлений при создании теплообменных систем является использование термоэлектрических преобразователей энергии [1], обеспечивающих построение экономичных, малогабаритных теплообменных аппаратов с широкими функциональными возможностями по поддержанию заданного теплового режима. Так, в этой области можно выделить ряд работ, где предложено размещение между потоками двух сред термоэлектрических батарей, снабженных на своих спаях оребренными поверхностями [2]. В этом случае интенсификация теплообмена будет происходить за счет искусственного увеличения температурного напора между средами за счет выделения и поглощения теплоты на спаях термоэлектрических батарей.

Здесь необходимо отметить, что увеличение температурного напора будет сопровождаться повышением потребляемой термоэлектрическими преобразователями мощности. Учитывая, что на сегодняшний день КПД стандартной термоэлектрической батареи не превышает 10 %, такое повышение мощности будет существенно ухудшать энергетические характеристики прибора. В этих условиях для интенсификации теплообмена между двумя средами будет целесообразным предусмотреть увеличение коэффициента теплообмена между спаями термоэлементов, составляющих термоэлектрическую батарею, и движущимися в транспортных зонах потоками, что может быть осуществлено путем принудительного продува воздушного потока в соответствующих зазорах посредством вентиляторных агрегатов. Учитывая, что необходимые вентиляторные агрегаты питаются существенно меньшими мощностями, использование данной методики на практике даст существенный выигрыш в энергетических характеристиках термоэлектрического интенсификатора теплопередачи.

Целью работы является описание термоэлектрического интенсификатора теплопередачи между потоками сред с различной температурой с возможностью увеличения коэффициента теплообмена между спаями термоэлектрической батареи и средами.

Структурная схема термоэлектрического интенсификатора теплопередачи приведена на рис.1.

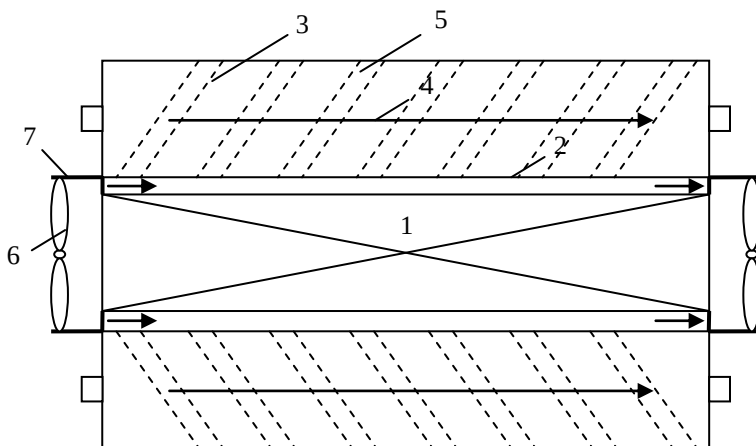


Рисунок 1 – Структурная схема термоэлектрического интенсификатора теплопередачи

Устройство состоит из термоэлектрической батареи 1, составленной из идентичных по размерам и физическим свойствам термоэлементов, питаемой источником электрической энергии (на рис. не показан), обе поверхности которой находятся на некотором расстоянии (зазоре) от стенок 2 транспортных зон 3 с движущимися в них средами 4. В транспортных зонах 3, под углом в пределах от 20° до 60° по отношению к плоскости движения сред 4 выполнены сквозные отверстия 5, образующие вместе с зазорами единые каналы для движения воздуха. В начале и конце транспортных зон 3 в направлении, также перпендикулярном движению сред 4 устанавливаются вентиляторные агрегаты 6, запитываемые от того же источника электрической энергии, что и термоэлектрическая батарея 1. Вентиляторные агрегаты 6 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. Скорость вращения вентиляторных агрегатов может регулироваться путем изменения величины питающего их тока с помощью автоматизированного блока управления. Термоэлектрическая батарея 1, транспортные зоны 3 и вентиляторные агрегаты 6 образуют жесткую механическую конструкцию посредством крепежных приспособлений 7.

Термоэлектрический интенсификатор теплопередачи работает 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, а также через отверстия 5 в транспортных зонах 3, 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.

Для рассмотренной конструкции разработана математическая модель, описывающая протекающие в приборе электро- и теплофизические процессы. Модель построена на основе уравнений теплового баланса по потокам сред в транспортных зонах, поверхностям термоэлектрической батареи, зазорах между транспортными зонами и поверхностями термоэлектрической батареи [3].

Получены зависимости изменения температуры сред на выходе интенсификатора теплопередачи от величины коэффициента теплообмена между спаями термоэлектрической батареи и воздушной средой в зазоре при фиксированной величине тока питания термоэлектрической батареи, равной 5 А. Согласно полученным данным увеличение значения коэффициента теплообмена дает возможность снизить (увеличить) их температуру на выходе из теплообменного аппарата при его одинаковой длине. Так изменение коэффициента теплообмена на $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ в среднем изменяет температуру нагреваемой среды на 2 К, а нагреваемой - на 3 К.

Также получены графики изменения предельных длин ТЭБ в зависимости от значения коэффициента теплообмена, т.е. тех длин, при которых температуры жидкостей на выходе из интенсификатора теплопередачи равны между собой. Как следует из расчетных данных, чем больше разница температур теплоносителей на входе в устройство, тем больше длина термоэлектрической батареи, необходимая для удержания режима интенсификации. Графики носят монотонно убывающий характер в зависимости от коэффициента теплообмена между спаями батареи и воздушной средой в зазоре. Чем больше разница температур сред на входе, тем резче убывают функции зависимости длины интенсификатора от коэффициента теплообмена при постоянном токе питания $I=5 \text{ А}$.

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 МАХ. - 2010. - №4, - С.5-7. **3.** Евдулов О.В., Кадилова Д.К. Термоэлектрический интенсификатор теплопередачи проточного типа // Термоэлектричество. - 2016. - № 6. - С. 82-86.

***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*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ КРОВИ

Д.В. ГОРЕНКОВ, Е.М. ПАТРУШЕВ, Т.В. ПАТРУШЕВА

В настоящее время ультразвуковые доплеровские измерительные средства достаточно широко используются в измерении скорости кровотока. В основе измерения лежит обнаружение доплеровского сдвига частоты ультразвуковой волны в процессе движения жидкости. Однако обнаруживаемый сигнал очень слаб на фоне преобладающих помех [1]. Традиционный метод измерения зависит от отношения сигнал/помеха. При очень низком соотношении сигнал/помеха определение частоты полезного сигнала достаточно затруднительно.

В соответствии с этим целесообразно применение генератора хаоса в качестве обнаружителя сигналов. Информацию о слабом сигнале можно получить, задав параметры хаотической системы таким образом, чтобы она находилась как можно ближе к критическому состоянию, при котором происходит переход от хаотического режима к периодическому [3].

На рис. 1 изображена структурная схема предлагаемого измерителя скорости потока на основе генератора хаоса. В качестве системы, демонстрирующей хаотическое поведение, используется электрическая цепь Murali-Lakshmanan-Chua (MLC). [2]

Передачик излучает ультразвуковые колебания с частотой f в исследуемую среду. В процессе рассеивания колебаний частицами крови имеет место доплеровский сдвиг частоты. Приёмник фиксирует отражённое колебание с частотой f' . Затем полученный сигнал подаётся на неавтономный генератор хаоса ГХ, для работы которого требуется также подача на вход синусоидального сигнала с частотой f_0 , близкой к f .

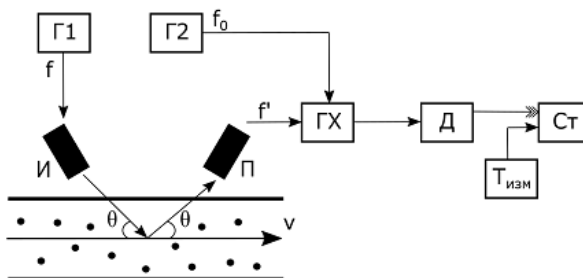


Рисунок 1 – Структурная схема измерителя скорости на основе генератора хаоса

Г1 – генератор ультразвуковых колебаний; Г2 – синусоидальный генератор, обеспечивающий работу генератора хаоса; И – излучатель; П – приёмник; ГХ – генератор хаоса; Д – детектор; Сч – счётчик

На выходе генератора хаоса будет наблюдаться чередование ламинарной и периодической фаз с частотой чередования $f' - f$. Далее полученный сигнал подаётся на вход детектора Д, который выдаёт на выходе логический сигнал, соответствующий хаотическим либо периодическим колебаниям. Счётчик Сч подсчитывает число хаотических выбросов за время измерения $T_{изм}$.

Перед непосредственным моделированием схемы необходимо оценить некоторые параметры. Полоса частот, в которой будет наблюдаться периодическое чередование ламинарных и хаотических фаз, зависит от амплитуды сигнала d генератора синусоидальных колебаний, сигнал с которого подаётся на неавтономный генератор хаоса. Зависимость полосы частот от амплитуды сигнала при различных мощностях входного шума $\sigma_{вх}^2$ приведена на рис. 2 для случая, когда частота опорного генератора в безразмерных единицах составляет $w=0,4$.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что с увеличением амплитуды сигнала d расширяется полоса частот, при которой можно наблюдать чередование режимов системы.

Также необходимо определить наиболее подходящую частоту излучаемой ультразвуковой волны.

Исходные данные: $c = 1550$ м/с – скорость звука в тканях тела; $v_{max} = 0,2$ м/с – максимальная скорость движения частиц крови; $v_{min} = v_{max}/50$ – минимальная скорость движения частиц крови; $\theta = \pi/4$ – угол между направлением излучения и направлением отражения; $\psi = 2$ – наибольшая частота сердечного ритма; $T_{изм} = \psi/5 = 0,1$ с – время измерения; $N = \Omega T_{изм}$ – число чередований хаотического и периодического режимов за время измерения.

Расчёт производится таким образом, чтобы разность числа чередований режимов при максимальном потоке и при отсутствии потока была не меньше 51: $\Delta N \geq 51$.

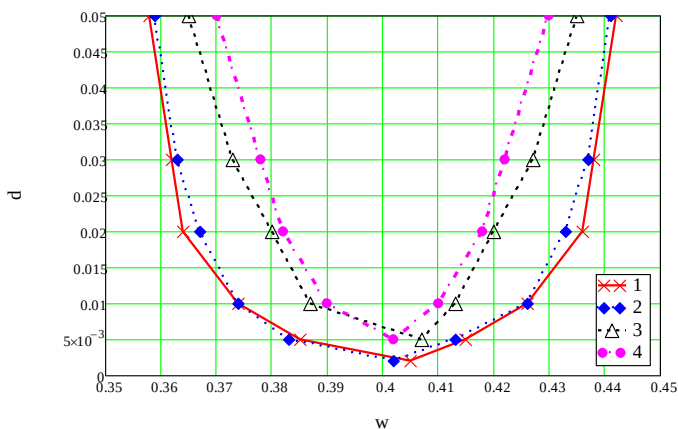


Рисунок 2 – Границы областей, в которых наблюдается чередование ламинарных и хаотических фаз, в генераторе хаоса при условии воздействия на него сигналом с частотой отличной от частоты опорного генератора. Графики построены при

- 1) $\sigma_{\varepsilon x}^2 = 0$; 2) $\sigma_{\varepsilon x}^2 = 10^{-6}$; 3) $\sigma_{\varepsilon x}^2 = 10^{-4}$; 4) $\sigma_{\varepsilon x}^2 = 10^{-3}$

При заданных параметрах по формуле (1) рассчитано значение f , $f = 2,795 \cdot 10^6$ Гц, которое можно округлить до 3 МГц.

$$f = \frac{\Delta H}{T_{изм} \cdot 2 \cdot v_{max} \cdot \frac{\cos \theta}{c}} \quad (1)$$

Для того, чтобы время измерения не превышало 1/5 от периода сердечных колебаний, необходимо взять частоту опорного генератора f_0 для генератора хаоса, отличную от частоты излучаемой ультразвуковой волны f , такую, чтобы обеспечить необходимую ΔN .

Для нахождения f_0 нужно, чтобы число периодов опорного колебания за один период чередования ламинарной и хаотической фаз составило бы не менее 1000, то есть $N \geq 1000$.

Наименьшее их число будет наблюдаться при наибольшей скорости потока $v = v_{max}$, конечно, при условии, что $f_{max} > f > f_0$, поскольку рассматривается случай распространения волны против потока:

$$N = T \cdot f_0 = \frac{f_0}{f_0 - f_{max}} = \frac{1}{1 - \frac{f \cdot k_v}{f_0}}, \quad \text{где } k_v = 1 - \frac{2 \cdot v_{max} \cdot \cos \theta}{c}, \quad (2)$$

$$f_0 = f \cdot \frac{k_v}{1 - \frac{1}{N}} = f \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot v_{\max} \cdot \cos \theta}{c}}{1 - \frac{1}{N}}$$

По формулам (2) при заданных параметрах рассчитано значение $f_0 = 3,002445$ МГц, которое можно округлить до 3,002 МГц.

На основании данных расчетов была составлена расчетная модель в MATLAB Simulink, представленная на рис. 3.

На выходе генератора хаоса получено чередование ламинарной и хаотической фаз (рис. 4). По количеству чередований фаз за время обнаружения можно определить скорость движения частиц крови.

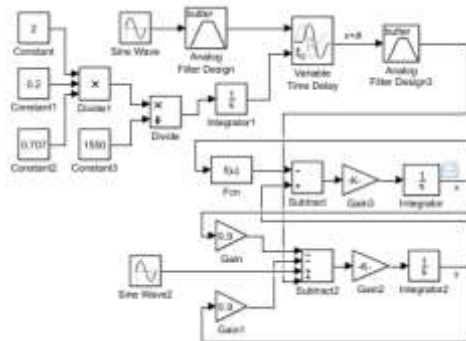


Рисунок 3 – Модель измерителя скорости на основе генератора хаоса, созданная в Matlab/Simulink

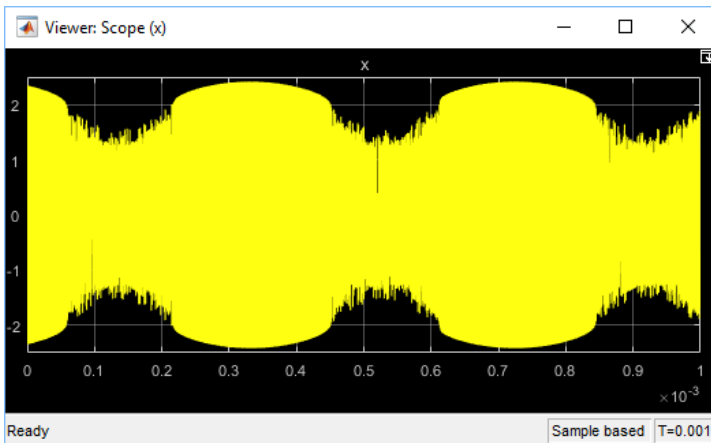


Рисунок 4 – Процесс на выходе генератора хаоса. Наблюдается чередование ламинарной и хаотической фаз. Процесс смоделирован при $T_{\text{изм}} = 1$ мс.

Период чередования фаз $T \approx 0,4$ мс

Исследование показало, что имеется возможность определения скорости с использованием ультразвукового доплеровского метода и генератора хаоса для обнаружения слабых сигналов. Успешно смоделирован процесс измерения скорости в Matlab/Simulink. Практическая реализация может быть выполнена как на аналоговых элементах, так и на цифровой элементной базе. Хаотическая система, смоделированная в MATLAB/Simulink, может быть интегрирована, к примеру, в FPGA фирмы Xilinx при помощи средства System Generator.

Литература. 1. Chen H.Y. Chaos weak signal detecting algorithm and its application the ultrasonic Doppler bloodstream speed measuring/ H.Y. Chen, Z.Q. Zhang, L.G. Chang, J. Li // 7th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, 2005. 2. K.Murali, M.Lakshmanan, L.O.Chua. Bifurcation and chaos in the simplest dissipative nonautonomous circuit/ Int. J. Bi-furcation and Chaos 4.-1994, pp.1511-1524. 3. Патрушева, Т.В. Разработка обнаружителя периодических сигналов на основе генератора хаоса для приборов контроля, работающих в условиях нестационарных помех/ Т.В. Патрушева, Е.М. Патрушев //Ползуновский вестник №2, 2017 с.71-76.

Реквизиты для справок: *Патрушева Татьяна Васильевна – старший преподаватель, тел. (3852)-290913, e-mail: attractor@list.ru; Патрушев Егор Михайлович – к.т.н, доцент, тел. (3852)-290913, e-mail: attractor13@gmail.com; Горенков Дмитрий Вячеславович – студент АлмГТУ, e-mail: gorenkov_dmitry@inbox.ru*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН

Ю.В. СЕМИНА, В.В. НАДВОЦКАЯ, И.Е. КИБЯКОВ

Технологические нормы отбора нефти из скважин зависят от процесса обводнения скважин для воздействия на залежь. Разность давлений на забое скважины и в пласте является той силой, которая продвигает углеводороды по пласту к скважинам. На величину пластового давления оказывают влияние различные факторы, такие, как особенность месторождения или работа самой нагнетательной скважины: из-за различного диаметра водопроводных труб, примесей в воде, скорости и режима потока, вязкости самого добываемого продукта. На рис. 1 схематически изображено действие закачиваемой скважинной воды на нефть в пласте месторождения [1].

Цель работы – разработка методики измерения пластового давления нагнетательных скважин в процессе добычи нефти.

Для определения пластового давления используются различные методики измерения давления пласта в зависимости от так называемого

режима пласта: при дренировании залежи системой эксплуатационных и нагнетательных скважин проявляется совокупность различных процессов в пористом пласте.



Рисунок 1 – Обводнение нефтяного пласта с целью поддержания давления

Например, фильтрация нефти происходит под действием давления законтурных или краевых вод (с поверхности за счет талых или дождевых вод или за счет непрерывной закачки воды через систему нагнетательных скважин). При этом количество отобранной нефти равно количеству вторгшейся в залежь законтурной воды и происходит быстрое перераспределение давления в пласте. Или режим дренирования залежей нефти «со свободной поверхностью» - фильтрация нефти в скважину будет происходить только под действием разности уровней жидкостей в удаленной части пласта и непосредственно на стенде скважины, т.е. давление во всех точках залежи остается постоянным. Ввиду сложности конфигурации залежей, разного соотношения нефти, газа и газожидкостных смесей, запаса упругой энергии в пластовой системе, интенсивности замещения водой извлекаемой из пласта нефти и прочих естественных и искусственных факторов сложно достоверно рассчитать истинное пластовое давление в реальном времени [2, 3].

Поскольку определено, что значения пластовых давлений неодинаковы в разных точках одной и той же залежи и изменяются во времени в процессе разработки, то величину давления в остановленной скважине принимают за параметр текущего давления скважины. Применение таких методик дает лишь приближенное значение пластового давления, при этом не возможно определить точный характер обводнения продукции скважин пласта, режим поддержания пластового давления и просчитать конечный коэффициент нефтеотдачи [3].

На основании применения метода электрогидравлических аналогий в работе предложена собственная методика измерения пластового давления нагнетательных скважин, учитывающая величину давления у устья нагнетательной скважины.

Будем придерживаться следующей гипотезы: оценка давления нагнетания воды по расходу поможет отслеживать динамику пластового давления в реальном времени. Давление необходимо направить через жидкость, которая имеет некоторую скорость потока v и какое-либо гидравлическое сопротивление R , из-за чего теряет часть энергии. При этом будем учитывать действие таких факторов, как разные диаметры водопроводных труб высокого и низкого давления, вязкость поднятой на поверхность жидкости, её температуру, присутствие гидравлического сопротивления. Предположительно необходимо оборудовать арматуру нагнетательной скважины дополнительными расходомерами для каждого водовода для оценки гидравлического сопротивления.

В силу разработанности исследователями электрических полей широкое использование в различных областях находят электрические модели. Поскольку уравнения, связывающие электрические параметры, переходят в соответствующие в гидродинамике соотношения, то на их основе можно составлять гидродинамические цепи, а затем анализировать их теми же методами, что и электрические цепи. Рассмотрим для сравнения и наглядного представления электрическую принципиальную схему генератора (рис. 3). Подобно течению тока в схеме, течение воды имеет скорость и постоянную динамику перемещения. Как в схеме имеются источники постоянного тока или источники напряжения, так и в пласте имеется какое-то известное давление, в данном случае статическое устьевое (в схеме это U_1), которое является движущей силой для воды. Зная потенциал слева и величину сопротивления (эквивалентно – гидравлического), можно оценить потенциал справа, что в оценке величины давления покажет неизвестное пластовое [4].

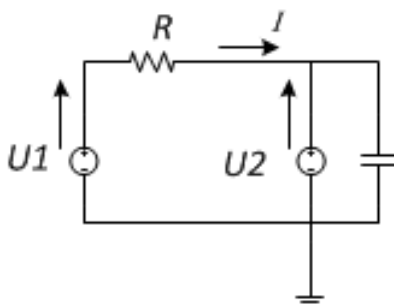


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная для наглядного представления методики оценки давления

Рассмотрим причины изменения давления пласта. Количество электричества имеет следующую зависимость:

$$\frac{1}{c_0} \int_0^\pi i \, dt. \quad (3)$$

Исходя из формулы, оно зависит от скорости накопления заряда, в нашем случае от того, какая величина давления у устья нагнетательной скважины. Ток в цепи сравним с расходом жидкости, имеющим свою скорость течения. Все расходомеры, кроме одного, измеряют скорость движения жидкости v как dx/dt .

Зная статическое давление $P_{ст}$ (в схеме U_1), зная гидравлическое сопротивление R и расход i , получим следующую зависимость:

$$iR - P_{пл} = P_{ст}, \quad (4)$$

соответственно, из формулы (4):

$$U_{пл} = U_{ст} - iR. \quad (5)$$

Предлагаемая нами методика измерения пластового давления нагнетательных скважин учитывает величину давления у устья нагнетательной скважины и способна дать оценку текущего давления скважины в реальном времени.

Закключение. В работе показано, что в расчетно-математических аппаратах методик, применяемых для определения пластового давления, имеются погрешности оценки процесса обводнения пласта ввиду нестатичности значения пластовых давлений в разных точках одной залежи. Далее в работе представлена методика оценки пластового давления на основе применения метода электрогидравлических аналогий. Для реализации методики необходима установка дополнительного оборудования в узле устьевого арматуры нагнетательной скважины. Следующим этапом работы, исходя из предложенной методики измерения, является выбор измерительных устройств, планирование их размещения, выбор способа передачи данных и вывода данных на монитор диспетчера.

Литература. 1. Меркулова Л.И., Гинзбург А.А. Графические методы анализа при добыче нефти. – М.: Недра, 1986. – 125 с. 2. Пулькина Н.Э., Зими́на С.В. Геологические основы разработки нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие / Пулькина Н.Э., Зими́на С.В.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 203 с. 3. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. – 448 с. 4. Волков О. Е. К вопросу теоретического моделирования методом электрических аналогий гидравлических систем // О. Е. Волков, В.А. Корнев, Р.И. Кюннап, А.А. Колесников. – Наука, техника и образование 2015. № 8 (14). – С. 28-30.

Реквизиты для справок. Россия, 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, Алтайский государственный технический университет им. Ползунова, кафедра информационных технологий, к.п.н., доцент **Надвоцкая В.В.** nadvotskaya7@mail.ru, тел. 29-09-13.

АНАЛИЗАТОР ИМПЕДАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**В.Н. ХМЕЛЕВ, Р.В. БАРСУКОВ, Е.В. ИЛЬЧЕНКО, Д.В. ГЕННЕ,
Д.С. АБРАМЕНКО**

Разработчики ультразвуковых колебательных систем (УЗКС), в ходе их проектирования, большое внимание уделяют механическим параметрам УЗКС таким как: резонансная частота, геометрические конструктивные особенности, свойства материалов волноводных элементов, коэффициент усиления [1], распределение колебаний по рабочей поверхности УЗКС [2, 3] (например, инструменты для формирования протяженных швов при УЗ сварке), площадь или объем обрабатываемой среды, точка размещения пьезокерамических элементов и т.п. В ходе создания УЗКС решается задача расширения функциональных возможности по частотному диапазону и обеспечение возможности эффективной работы в широком диапазоне акустических нагрузок. При этом проектирование конструкции осуществляется без учета влияния электронного генератора, т.е. колебательная система не рассматривается как электромеханический преобразователь, являющийся электрической нагрузкой на генератор.

Вместе с тем излучатель ультразвуковых колебаний, как нагрузка на электронный генератор, имеет комплексное сопротивление, величина и характер которого определяется всеми перечисленными (и не только) механическими параметрами УЗКС. Эффективная работа ультразвуковых технологических аппаратов возможна только при согласовании ультразвукового излучателя с электронным генератором [4], которое подразумевает компенсацию реактивных составляющих импеданса УЗКС (т.е. подключение дополнительных реактивных элементов на электрической стороне для исключения реактивной составляющей у такой скорректированной нагрузки) и приведение ее активной величины к определенному значению.

Таким образом, контроль импеданса УЗКС, с одной стороны, может позволить оптимизировать процесс согласования ее с электронным генератором. С другой стороны, контроль импеданса УЗКС может обеспечить диагностику механических параметров УЗКС для выявления влияния различных конструктивных особенностей и целенаправленного влияния на электрический импеданс УЗКС. Кроме того, контроль импеданса обеспечит своевременное выявление критических изменений как при производстве УЗКС, так и у уже «поработавших» УЗ колебательных систем.

На рынке измерительного оборудования присутствует ряд приборов [5], предназначенных для получения импедансных характеристик УЗКС. Все они являются очень сложными, дающими порой избыточную инфор-

мацию, не имеющую практической значимости, а некоторые из них являются приставками и требуют подключения к ПК со специализированным ПО. Так же немаловажным фактором, влияющим на использование подобного оборудования, является его высокая стоимость.

Таким образом, целью данной работы является разработка недорогого анализатора, позволяющего получать импедансные характеристики УЗ излучателей с преобразователями пьезоэлектрического типа.

Структура измерителя представлена на рис. 1. Он состоит из синтезатора частоты DSS, синусоидальный сигнал, с выхода которого, усиливается (усилитель A) и поступает на подключенную УЗ колебательную систему.

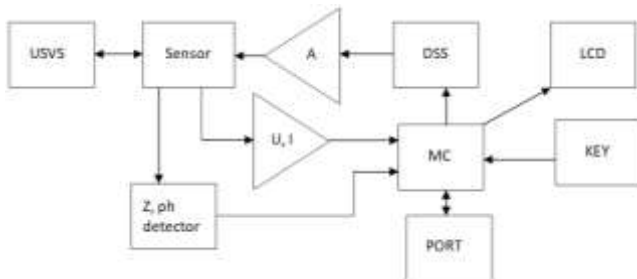


Рисунок 1 – Структура измерителя импеданса УЗКС

Схема датчиков (sensor) формирует сигналы, пропорциональные напряжению и току, потребляемому УЗКС. По сути это блок, состоящий из резистивного делителя напряжения и резистивного токового датчика, необходимых для формирования сигналов обратной связи.

Эти два ВЧ сигнала обратной связи несут информацию о фазовом соотношении исходных сигналов (тока и напряжения на УЗКС). Далее эти сигналы поступают на входы устройства (Z, pH detector), которое, с одной стороны, является фазовым детектором, а с другой стороны реализует функцию деления сигналов, пропорциональных напряжению и току соответственно. Таким образом, на выходах этого блока, формируются два постоянных сигнала, пропорциональных отношению тока и напряжения на УЗКС, и их фазовому соотношению. Эти информационные сигналы поступают на аналоговые входы микроконтроллера MC, где оцифровываются и используются далее для расчетов основных параметров и характеристик УЗКС.

Кроме того, на аналоговые входы микроконтроллера поступают сигналы с выхода усилителя (U, I) совмещенного с амплитудным детектором, которые пропорциональны амплитуде тока и напряжения УЗКС.

Графический (LCD) дисплей, подключенный к микроконтроллеру, используется для оперативного отображения полученных параметров и

характеристик УЗКС. Режимы работы прибора, а также тип отображаемой на дисплее информации задается при помощи органов управления KEY.

Коммуникационный порт (PORT) используется для подключения прибора к персональному компьютеру с целью протоколирования и последующей обработки полученной измерительной информации. Микроконтроллер MC так же управляет синтезатором частоты (DSS), задает частоту измерений или диапазон перестройки по частоте для получения частотных характеристик измеряемых параметров.

В качестве источника сигнала была использована микросхема AD9851, которая представляет собой цифровой синтезатор частоты синусоидального сигнала с возможностью перестройки в интересующем диапазоне (от 15 кГц до 200 кГц), с малым шагом по частоте. Структура микросхемы AD9851 показана на рис. 2а.

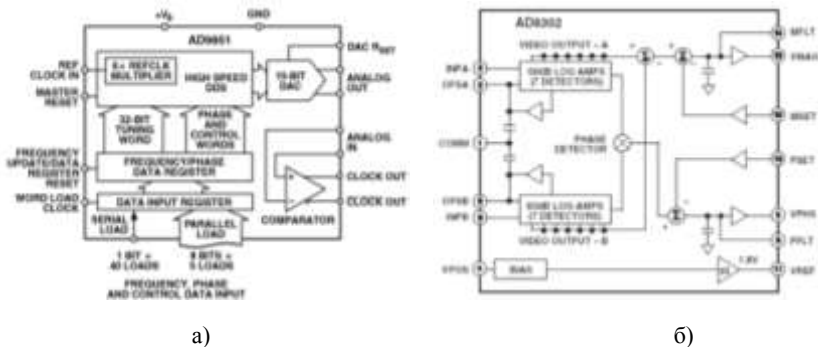


Рисунок 2 – Структура микросхемы AD9851 (а), структура микросхемы AD8203 (б)

Одним из достоинств данной микросхемы является наличие цифрового интерфейса, который позволяет управлять ею при помощи внешнего управляющего контроллера, который присутствует в структуре разрабатываемой схемы.

В качестве узла, реализующего формирование сигнала пропорционального отношению напряжения и тока, протекающего через УЗКС, а также сигнала, пропорционального их фазовому соотношению, используется микросхема AD8302 (фирма Analog Device), которая представляет собой аппаратно реализованный измеритель усиления/затухания и фазы сигналов. Структура этой микросхемы представлена на рис. 2б, которая состоит из двоянного логарифмического усилителя-измерителя амплитуды и фазового детектора.

Частоты контролируемых сигналов могут лежать в диапазоне от постоянного напряжения до 2.7 ГГц, что, конечно же, для поставленной

задачи является избыточным, поскольку интерес представляет диапазон частот от 15 кГц до 200 кГц.

В ходе работы микросхемы AD8302 на ее выходах формируются два аналоговых сигнала. Первый пропорционален отношению амплитуд входных сигналов, второй – разности их фаз. По этим двум значениям можно рассчитать все характеристики УЗ преобразователя (активную, реактивную составляющие входного сопротивления УЗКС, комплексное сопротивление).

Рассмотренная структура прибора, можно сказать, является классической, а используемые в измерительном тракте специализированные микросхемы нашли применение в составе измерительных приборов, применяемых для получения аналогичных параметров и характеристик антенно-фидерных трактов, и имеют неплохие метрологические характеристики.

Отличительным элементом является разработанное оригинальное программное обеспечение, написанное для управляющего микроконтроллера (МС) и программное обеспечение для ПК, предназначенное для сбора, обработки и визуализации полученных характеристик.

Разработанный прибор позволяет определять следующие параметры и характеристики УЗКС:

- значение резонансных, антирезонансных частот в указанном диапазоне;
- импеданса на резонансной частоте (комплексный, модуль, а так же активная и реактивная составляющие);
- частотные характеристики модуля импеданса, а так же действительной и мнимой части импеданса УЗКС;
- добротность УЗ колебательной системы;
- АЧХ и ФЧХ тока УЗ колебательной системы.

На рис. 3 представлен внешний вид анализатора со снятой крышкой, на заднем фоне которого, в качестве примера, показаны полученные частотные характеристики импеданса стержневой УЗКС с преобразователем пьезоэлектрического типа.

Известно, что акустическая нагрузка, влияет на параметры УЗКС [6–9], поэтому большое практическое значение имеет проведение измерений именно при наличии акустической нагрузки. Единственный минус данного анализатора заключается в том, что он не позволяет проводить измерения при силовом режиме работы УЗКС, что было бы интересно, поскольку в большинстве случаев в таком режиме меняется акустическая нагрузка и, соответственно меняются параметры УЗКС.

Разработанный анализатор может быть использован не только для оценки параметров и характеристик, разработанных или уже существующих, ультразвуковых колебательных систем пьезоэлектрического

типа, но и для проведения научных исследований, связанных с изучением влияния акустической нагрузки на параметры и характеристики ультразвуковых колебательных систем [6, 7].

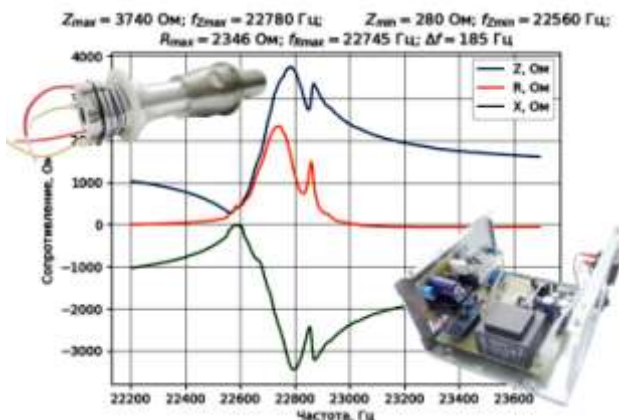


Рисунок 3 – Фото измерительного блока анализатора на фоне полученных частотных характеристик

Литература 1 V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov, V.A. Nesterov, M.E. Vakar, “Development of ultrasonic welding technology by hand tool” 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2016: Novosibirsk, NSTU, 2016, pp 280-284 doi: 10.1109/EDM.2016.7538741 **2** V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, “The development of ultrasonic welder for the formation of continuous welding seams” XIII International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU, 2012, pp 148-156. doi: 10.1109/EDM.2012.6310207 **3** V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, “Studies of transformation of longitudinal ultrasonic vibrations into radial ones” XII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011, Novosibirsk, NSTU. 2011, pp 288-291. doi: 10.1109/EDM.2011.6006971 **4** V.N. Khmelev, D.V. Genne, R.V. Barsukov, D.S. Abramenko, A.N. Slivin, A.A. Romashkin, “Matching of electronic generators with piezoelectric vibrating systems for increase in efficiency of ultrasonic devices” 2010 11th Annual International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010. doi: 10.1109/EDM.2010.5568790 **5** TRZ Horn Analyzer [Online] Available: <http://www.atcp-ndt.com/products/piezo-and-ultrasonics/trz-horn-analyzer.html> **6** V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V.

Ilchenko, "Method of Acoustic Load Control" International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2011, pp 236-240. doi: 10.1109/EDM.2011.6006959 7 V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko, "The Ultrasonic Device for Treatment and Cosmetic Procedures" International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2012: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2012, pp 106-109. doi: 10.1109/EDM.2012.6310199. 8 V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, E.V. Ilchenko, N.S. Popova, "Determination of the concentrations of water solutions during their cavitation processing" 16th International Conference on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2015: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2015, pp 245-248. 9 V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko, "Practical Investigations of the Method for Indirect Control of Acoustic Load Parameters" Applied Physics Research (Canadian Center of Science and Education). – 2011. – Vol. 3, No. 2. – pp. 224-229.

Реквизиты для справок: Россия, 659305, Бийск, ул. Трофимова 27, Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барсуков Р.В., тел. (3854) 432570. E-mail: roman@bti.secna.ru

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН

И.П. МИРОШНИЧЕНКО

В настоящее время внедрение современных методов и средств лазерной интерферометрии открывает новые возможности при решении различных актуальных практических задач исследования свойств и процессов дефектообразования в новых материалах (слоистых, полимерных, композиционных), диагностики состояния конструкционных материалов силовых элементов изделий на всех этапах их жизненного цикла и т.п.

Опытная эксплуатация оптических интерференционных средств измерений малых пространственных перемещений поверхностей объектов контроля (ОК) [1-2] показала, что одним из направлений повышения качества результатов измерений может быть разработка и использование нового программного обеспечения (ПО) для обработки результатов измерений интенсивности оптических полей интерференционных картин (ИК).

Целью работы являлась разработка нового ПО для обработки результатов измерений интенсивности оптических полей ИК, создаваемых лазерными оптическими средствами измерений малых пространственных (линейных и угловых перемещений) поверхностей ОК, позволяющего повысить качество результатов измерений.

Разработано новое ПО для обработки результатов измерений интенсивностей оптических полей ИК, создаваемых оптическими средствами измерений малых пространственных перемещений ОК, предложенных на основе лазерного двухходового интерферометра с совмещенными ветвями с использованием возможностей ПО MathCad 2000 Professional и выше.

ПО объединяет ряд программ, построенных на основе типового алгоритма, моделирующих определенный вариант сбора информации – интенсивности оптического поля ИК (одиночным фотоприемным устройством (ФПУ), группой ФПУ, матрицей ФПУ с заданными геометрическими характеристиками и т.д.) с заданных областей ИК (в одном из колец ИК, в нескольких кольцах ИК, в выделенной области ИК и т.п.), а также использующих различные методы обработки полученной информации.

В каждой программе реализован типовой алгоритм моделирования процесса измерений малых перемещений поверхностей ОК оптическими интерференционными средствами измерений, сущность которого может быть наглядно показана на наиболее простом примере измерения малого линейного перемещения поверхности ОК одиночным ФПУ.

Исходными данными для обработки является набор изображений ИК ($n=1,2 \dots N$) в стандартных графических форматах, каждая (n -ая) из которых соответствует определенному моменту измерения (малому линейному перемещению) в процессе регистрации изображения ИК, при котором проводилось воспроизведение заданного значения малого линейного перемещения поверхности ОК, а также геометрические характеристики ФПУ.

Алгоритм, реализованный в ПО, заключается в следующем:

1. Визуализация и анализ интенсивности оптического поля исходной ИК ($n=1$), характеризующей исходное положение поверхности ОК (рис. 1).

2. Визуализация и анализ интенсивностей оптических полей всех ИК, входящих в набор ($n=1,2 \dots N$, для примера $N=31$), соответствующих определенным моментам измерений (линейным перемещениям) в процессе регистрации (внешний вид ИК $n=1,2 \dots 6$ представлен на рис. 1).

3. Выбор области на исходной ИК ($n=1$), ограниченной заданными геометрическими характеристиками ФПУ, путем нанесения горизонтальных и вертикальных линий (разметки) и ее визуализация (см. рис. 2).

4. Визуализация выбранной области исходной ИК ($n=1$), ограниченной заданными геометрическими характеристиками ФПУ (см. рис. 3).

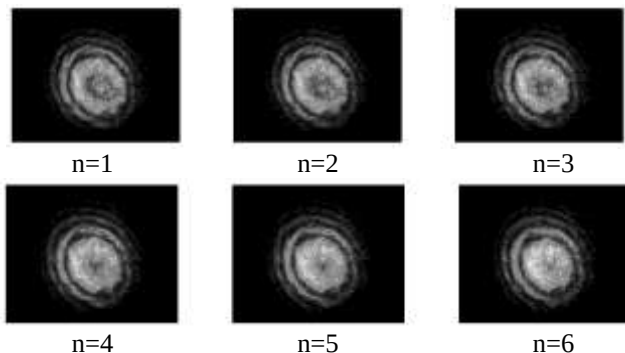


Рисунок 1 – Внешний вид ИК $n=1,2...6$

5. Задание и визуализация выбранной области на всех ИК ($n=1,2...31$), входящих в набор с использованием параметров исходной ИК.

6. Определение суммарной интенсивности по выбранной области для всех ИК, входящих в набор ($n=1,2...31$), и построение зависимости изменения рассчитанной суммарной интенсивности по выбранной области для каждого из моментов регистрации.

7. Обработка полученных результатов с использованием, например, различных встроенных средств, реализующих методы статистической обработки и прогнозирования, известного ПО.

Разработанное ПО в настоящее время также включает программы для обработки результатов измерений интенсивностей, полученных при помощи двух ФПУ, установленных в прилегающих друг к другу кольцах ИК (см. рис. 4), при регистрации интенсивности с области ИК, отличающейся максимальной контрастностью, в соответствии с решением [3] (см. рис. 5), для вертикальных и горизонтальных выделенных областей (см. рис. 6), а также для корректировки результатов измерений на основе анализа суммарной интенсивности оптического поля ИК в соответствии с решением [4].

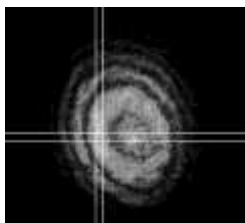


Рисунок 2 – Внешний вид разметки на исходной ИК

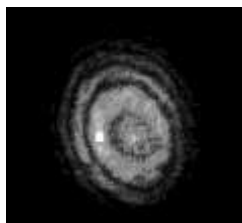


Рисунок 3 – Внешний вид исходной ИК с выбранной областью

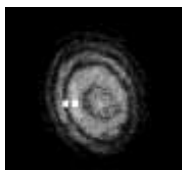


Рисунок 4 – Исходная ИК для варианта регистрации при помощи двух ФПУ

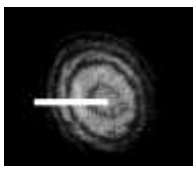


Рисунок 5 – Исходная ИК для варианта регистрации с выделенной областью

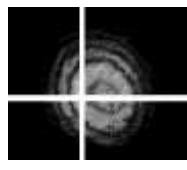


Рисунок 6 – Исходная ИК для варианта регистрации с выделенных областей

Описанные выше программы, входящие в ПО, защищены свидетельствами РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ [5-9], апробированы и использованы при экспериментальных исследованиях характеристик перспективных оптических средств измерений.

Работы над описанным ПО продолжаютсЯ. Дальнейшим развитием предложенных алгоритма и ПО являются разработка унифицированных алгоритмов для моделирования различных вариантов процессов измерений и обработки результатов измерений.

Выводы.

1. Разработано новое ПО для обработки результатов измерений интенсивности оптических полей ИК, создаваемых оптическими средствами измерений малых пространственных перемещений поверхностей ОК.
2. Предлагаемое ПО позволяет повысить качество результатов измерений при решении различных задач, а также может быть успешно использовано в интересах создания новых методов обработки интенсивности оптических полей ИК, создаваемых оптическими средствами измерений, построенными на основе лазерных интерферометров различных типов.

Работа поддержана Минобрнауки РФ и РФФИ (№ 16-08-00740).

Литература. 1. Мирошниченко, И.П. Высокоточные оптические средства измерения перемещений для мобильных диагностических комплексов / И.П. Мирошниченко // Ползуновский вестник.- 2014.- № 2.- С. 95-99. 2. Патент 2407988 РФ, МПК G 01 В 9/02, G 01 В 11/02. Оптическое устройство для измерения перемещений / И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов, Е.В. Рожков, А.Г. Серкин.- № 2009101829/28, заявл. 20.01.2009; опубл. 27.12.2010. Бюл. № 36. 3. Патент 2373492 РФ, МПК G 01 В 11/00, G 01 В 21/00. Оптическое устройство для измерения перемещений / И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов, Е.В. Рожков, А.Г. Серкин.- № 2007144257/28, заявл. 28.11.2007; опубл. 20.11.2009. Бюл. № 32. 4. Мирошниченко, И.П. Коррекция результатов измерений малых перемещений лазерными интерферометрами / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Датчики и системы.- 2008.- № 3.- С. 28-30. 5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017614710 РФ. Программа для

визуализации и обработки распределений интенсивности оптического поля интерференционной картины, создаваемой лазерным интерферометром / И.П. Мирошниченко.- № 2017611671, заявл. 03.03.2017; зарег. 26.04.2017; опубл. 20.05.2017. Бюл. № 5. **6.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017614861 РФ. Программа для визуализации и обработки зависимостей интенсивности оптического поля в выделенной области интерференционной картины / И.П. Мирошниченко.- № 2017611728, заявл. 03.03.2017; зарег. 02.05.2017; опубл. 20.05.2017. Бюл. № 5. **7.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017614715 РФ. Программа для визуализации и статистической обработки распределений интенсивности оптического поля в выделенных областях интерференционной картины / И.П. Мирошниченко.- № 2017611722, заявл. 03.03.2017; зарег. 02.05.2017; опубл. 20.05.2017. Бюл. № 5. **8.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017614764 РФ. Программа для визуализации и статистической обработки распределений интенсивности оптического поля в областях интерференционной картины, ограниченных геометрическими характеристиками фотоприемных устройств / И.П. Мирошниченко.- № 2017611682, заявл. 03.03.2017; зарег. 26.04.2017; опубл. 20.05.2017. Бюл. № 5. **9.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017614900 РФ. Программа для корректировки результатов измерений интенсивности оптического поля интерференционной картины / И.П. Мирошниченко.- № 2017611687, заявл. 03.03.2017; зарег. 27.04.2017; опубл. 20.05.2017. Бюл. № 5.

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.*

КОНТРОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Б.С. ПЕРВУХИН, В.А. СОПИН

К наиболее распространенным органическим жидкостям можно отнести различные виды смазочных масел, а также различные виды моторных топлив, таких как автомобильные бензины, дизельное топливо, топливо для реактивных самолетов. Предложены методики контроля эксплуатационных свойств этих жидкостей с использованием измерения удельной проводимости (далее УЭП) или их относительной диэлектрической проницаемости.

Целями работы являются: определение требуемых диапазонов измерения УЭП и относительной диэлектрической проницаемости; выбор

метода измерения этих параметров; определение условий их независимо-го измерения.

При движении по трубопроводам чистые органические жидкости накапливают электрический заряд. Накопление в нефтяных топливах статического электричества является причиной взрывов и пожаров. Накопленный при движении электростатический заряд можно свести до безопасной величины, если удельная электрическая проводимость (далее УЭП) топлива будет не менее 50 пСм/м.

Сейчас все больше внимания уделяется присадкам, введением которых можно повысить проводимость топлив, исключив тем самым скопление опасных по величине зарядов статического электричества. В России разработана, производится и используется антистатическая присадка Сигбол. Для реактивных топлив, использующих эту присадку, установлена норма по электропроводности: от 50 (при температуре заправки) до 600 пСм/м (при 20°C). Для зарубежных топлив, содержащих антистатические присадки, этот диапазон составляет 50-300 пСм/м. Методы определения удельной электрической проводимости авиационных топлив [1] должны обеспечивать измерение УЭП в диапазоне от 1 пСм/м до 2 нСм/м.

Еще одним распространенным видом топлива является автомобильный бензин различных марок. Для оперативного контроля октанового числа используют октанометры, которые реализуют косвенный метод его определения. Однако в данных приборах отсутствует возможность определения октанового числа топлива с примесью воды, наличие которой приводит к резкому повышению погрешности измерения октанового числа и недостоверным результатам контроля. В основу действия большинства современных октанометров положено измерение диэлектрической проницаемости бензина [2]. Вода имеет высокую относительную диэлектрическую проницаемость, и даже малое ее количество может влиять на результат определения октанового числа бензина [3]. Для исключения этого влияния предложена методика, использующая для определения октанового числа бензина независимое измерение его удельной электрической проводимости и относительной диэлектрической проницаемости [3]. Диапазон измерения относительной диэлектрической проницаемости от 2 до 3, а диапазон измерения удельной электрической проводимости от 1 нСм/м до 200 нСм/м.

Кроме авиационных реактивных топлив и определения октанового числа автомобильного бензина измерение удельной электрической проводимости и относительной диэлектрической проницаемости можно использовать и для контроля качества смазочных масел [4]. Необходимый диапазон измерения удельной электрической проводимости и относительной диэлектрической проницаемости находится в тех же пределах, что и для контроля авиационного топлива и автомобильного бензина. Кроме измерения приведенных параметров для реализации методик кон-

троля качества рассмотренных нефтепродуктов необходимо знать температуру контролируемой жидкости.

Таким образом, прибор, позволяющий реализовать методики контроля рассмотренных нефтепродуктов, должен иметь три независимых канала измерений:

- канал измерения удельной электрической проводимости, обеспечивающий измерения в диапазоне от 1 пСм/м до 200 нСм/м;
- канал измерения относительной диэлектрической проницаемости в диапазоне от 2 до 3;
- канал измерения температуры анализируемой жидкости от -50 до 100°C.

Наиболее подходящим способом раздельного определения удельной электрической проводимости и относительной диэлектрической проницаемости является оценка их величины по квадратурным составляющим тока через емкостной первичный преобразователь с анализируемой жидкостью. В качестве выходного сигнала, по которому определяется УЭП анализируемой жидкости, можно использовать среднее значение тока через первичный измерительный преобразователь (далее ПИП) за половину периода напряжения питания. При этом среднее значение тока i_{cp} будет равно

$$i_{cp} = \frac{U}{\pi} \int_0^{\pi} |Y| \sin(\omega t + \varphi) d\omega t = \frac{2U}{\pi} |Y| \cos \varphi = \frac{2U}{\pi} g, \quad (1)$$

где U - амплитуда напряжения питания первичного преобразователя; $|Y|$ - модуль проводимости первичного преобразователя с анализируемым раствором; φ - угол сдвига фазы тока относительно напряжения питания первичного преобразователя; g - активная составляющая проводимости первичного преобразователя. Для оценки величины реактивной составляющей проводимости ПИП можно использовать среднее значение тока через первичный преобразователь, определенный за половину периода напряжения питания, сдвинутого на 90 градусов. При этом среднее значение тока i_{cp} будет равно

$$i_{cp} = \frac{U}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} |Y| \sin(\omega t + \varphi) d\omega t = \frac{2U}{\pi} |Y| \sin \varphi = \frac{2U}{\pi} b, \quad (2)$$

где b - реактивная составляющая проводимости первичного преобразователя.

Активная и реактивная составляющие проводимости первичного преобразователя, входящих в (1) и (2) сложным образом, зависят от удельной

электрической проводимости χ , относительной диэлектрической проницаемости ε , постоянной первичного преобразователя A и емкости связи C_c .

$$g = \frac{A\chi(\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2)^{-1}}{\frac{A^2 \chi^2}{(\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2)^2} + \left(\frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{1}{\omega C_c} \right)^2}, \quad (3)$$

$$b = \frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A (\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2)^{-1} + (\omega C_c)^{-1}}{\frac{A^2 \chi^2}{(\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2)^2} + \left(\frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{1}{\omega C_c} \right)^2} \quad (4)$$

Если выполнить условие, что χ много больше $\omega_1 \varepsilon \varepsilon_0$, то из (3) и (4) получим следующие зависимости активной и реактивной составляющих проводимости первичного преобразователя:

$$g \approx \frac{A\chi^{-1}}{A^2 \chi^{-2} + (\omega_1 C_c)^{-2}}, \quad b \approx \frac{(\omega_1 C_c)^{-1}}{A^2 \chi^{-2} + (\omega_1 C_c)^{-2}}. \quad (5)$$

С другой стороны, если путем изменением частоты обеспечить выполнение обратного условия, что $\omega_2 \varepsilon \varepsilon_0$ много больше χ , то получим следующие выражения для активной и реактивной составляющих проводимости:

$$g \approx 0, \quad b \approx \frac{1}{A(\omega_2 \varepsilon \varepsilon_0)^{-1} + (\omega_2 C_c)^{-1}}. \quad (6)$$

Как видно из зависимостей активной и реактивной составляющих (5) (6), на их величину, кроме измеряемых параметров УЭП χ и диэлектрической проницаемости ε , влияет емкость связи C_c . Для уменьшения влияния этой емкости на результат определения УЭП необходимо, чтобы выполнялось условие - $A\chi^{-1}$ много больше $(\omega_1 C_c)^{-1}$, т.е. активное сопротивление анализируемой жидкости должно быть намного больше реактивного сопротивления емкости связи. В этом случае соотношение (5) преобразуется в следующий вид:

$$g \approx \chi A^{-1}, \quad b \approx 0. \quad (7)$$

Влияние емкости связи можно уменьшить до незначительной величины, если выполнить условие $A(\omega_2 \varepsilon \varepsilon_0)^{-1}$ много больше $(\omega_2 C_c)^{-1}$, т. е. реактивное сопротивление анализируемого раствора должно быть намного

больше, чем реактивное сопротивление емкости связи. В этом случае получим из (6) следующие зависимости

$$g \approx 0, \quad b \approx \omega_2 \varepsilon \varepsilon_0 A^{-1} \quad (8)$$

В результате сформулированы требования к диапазонам измерения удельной электрической проводимости и относительной диэлектрической проницаемости, а также условия, выполнение которых обеспечивает независимое измерение этих параметров рассмотренных органических жидкостей.

Литература. 1. ГОСТ ISO 6297-2015 Нефтепродукты. Топлива авиационные и дистиллятные. Определение удельной электрической проводимости. 2. Поляков С. А. Средство диэлькометрического контроля бензина : дис. к-та техн. наук : 05.11.13 / Поляков Сергей Александрович ; Госуниверситет – УНПК – Орел, 2014. – 122л. 3. Пушкин В. Ю. Электрофизические методы определения октанового числа моторных топлив / В. Ю. Пушкин, В.В. Кишмет, В. В. Благовещенский // Химия и технология топлив и масел. – 2002.- №4. – С.47-48. 4. Григорьев А. Б. Диэлектрическая проницаемость, как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессе их эксплуатации / А. Б. Григорьев, П. В. Карножицкий, С. А. Слободский // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006.- №25.- С.169-175.

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) 29-09-13. E-mail:bspervuhin@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА НА УГЛОВУЮ СКОРОСТЬ КОЛЕС ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Ю.Ю. МОРГУНОВ, А.Г. ЯКУНИН

Строительство дорог обязательно подразумевает создание плотного грунта, которое является основанием для асфальтирования. Как грунт, так и асфальт требуют уплотнения, однако как прочностные, так и деформативные свойства грунтов в значительной степени зависят от пористости грунтов и от силы сцепления частиц скелета грунта. Уменьшить сжимаемость и увеличить прочность грунтов можно либо за счет уменьшения пористости грунта, либо путем увеличения сцепления между частицами скелета грунта. Увеличение сцепления между частицами скелета создается при помощи изотермической обработки грунта, цементацией грунта различными химическими реагентами и т.п., и на практике применяется редко [1]. Уменьшение пористости грунта достигается путем

уплотнения грунта трамбовками, сваями, виброагрегатами и другими техническими устройствами [1]. При уменьшении плотности грунта существует необходимость контроля качества уплотнения. На текущий момент грунт уплотняют катками за счет определенного числа проходов по грунту. При этом сохраняется вероятность того, что грунт будет либо недостаточно уплотнен, либо будет выполнена лишняя работа. По ГОСТу все методы подразумевают использование пробы, взятой из уплотненного грунта, и многие из них проводятся в лаборатории [2]. Альтернативными являются методы, позволяющие определять плотность грунта непосредственно в процессе уплотнения дорожного полотна [3]. Так в [4] качество уплотнения определяется по изменению угловой скорости колес за счет изменения эффективного радиуса шины из-за различной степени ее деформации в зависимости от плотности грунта. Однако, если каток движется не по прямолинейной траектории, возникает дополнительная погрешность из-за различной скорости вращения колеса на внешней и внутренней траектории. Кроме того, на точность измерения влияет также и разная величина нагрузки на переднюю и заднюю оси катка. Данные факторы можно рассчитать теоретически, однако из-за невозможности полного учета всех влияющих факторов (неравномерность толщины шин, их плотности и упругих свойств, неровность дорожного покрытия и др.) точность таких расчетов может оказаться невысокой.

Целью данной работы явилось проведение экспериментальных исследований, позволяющих более точно оценить потенциальные возможности описанного в [4] метода, и, в первую очередь, влияние на точность вычислений угловой скорости движения транспортного средства по криволинейной траектории.

Для исследования была собрана экспериментальная установка, показанная на рис. 1. Слева на рисунке показана принципиальная схема,

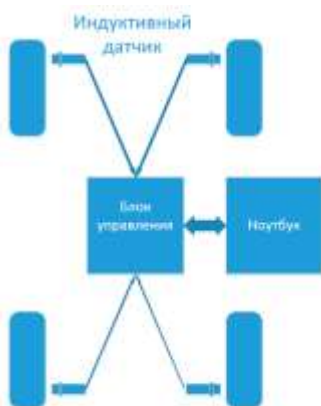


Рисунок 1 – Функциональная схема (слева) и внешний вид экспериментальной установки

справа на рисунке собранная установка. Передние колеса имеют больший радиус по сравнению с задними, диаметр передних колес составляет 250 мм, а задних 200 мм. Блок управления реализован на основе микроконтроллера stm32f103, он собирает данные и затем передает их на ноутбук по интерфейсу RS485, где производится их обработка. При проведении испытаний нагружаются задние колеса таким образом, чтобы колеса изменяли свой радиус примерно на 1 см. Передние колеса являются поворотными. Измерение характеристик вращения колес производится через индуктивные датчики. К колесам прикреплены металлические лопасти, имеющие по 8 меток, по которым срабатывают датчики во время движения.

Обработка данных производится четырьмя счетчиками через внешние прерывания. В дальнейшем для повышения эффективности работы процессора будут использованы 4 таймера с режимом PWM input [5]. Алгоритм работы подпрограммы обработки прерывания приведен на рис. 2.



Рисунок 2 – Алгоритм подсчета времени между метками

Для оценки необходимости применения внешней памяти был проведен анализ занимаемого объема, расчет и результат, выполненный в среде Mathcad, приведен на рис. 3. Максимальное расстояние перемещения установки, на котором должны фиксироваться данные, было принято равным 100 метрам. Диаметр передних колес установки 250 мм. Число данных, поступающих за один оборот колеса, равно восьми. Получаем, что число измерений будет равно 1018, при объеме одного измерения в 4 байта, получим, что для хранения данных, полученных с двух колес, не-

обходимо 8 КБ. При подсчете для колеса диаметром в 200 мм объем хранимых данных будет составлять 10 Кб. В сумме получаем, что необходимый объем для хранения данных с 4-х колес не превысит 18 Кб, что умещается в оперативную память микроконтроллера и не требует внешнего ПЗУ.

$d := 250\text{mm}$	
$C := d \cdot \pi = 0.785\text{m}$	Длина окружности колеса
$\text{Cnt} := 8$	Число итераций измерения
$\Delta C(x) := \frac{C}{x}$	Точность измерения
$\Delta C(\text{Cnt}) = 9.817\text{-cm}$	
$L := 100\text{m}$	Пройденное расстояние
$V := 4\text{byte}$	
$\text{cntL} := \frac{L}{\Delta C(\text{Cnt})} = 1018.591636$	Число измерений на одно колесо
$\text{cntV} := \text{cntL} \cdot V = 3.979\text{-kbyte}$	Объем для хранения данных для одного колеса
$\text{cntV} := \text{cntL} \cdot V \cdot 2 = 7.958\text{-kbyte}$	Объем для хранения данных для 2-х колес

Рисунок 3 – Расчет объема, занимаемого данными

Скорость работы таймера рассчитывалась на основании номинальной скорости вращения колес без нагрузки и с нагрузкой. Учитывая, что скорость вращения колеса может изменяться на 5%, получаем, что проводить измерения с помощью таймера необходимо с частотой тактирования в 10 КГц. Результат, полученный в программе Mathcad, проиллюстрирован на рис. 4.

$$\begin{aligned}
 D &:= 20\text{cm} \\
 L &:= D \cdot \pi = 0.628\text{m} \\
 \text{speed} &:= 5\text{kph} = 1.389 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{cnt} &:= 8 \\
 \text{обсек} &:= \frac{\text{speed}}{L} = 2.21 \frac{1}{\text{s}} \\
 \text{шагсек} &:= \frac{\text{обсек}}{\text{cnt}} = 0.276 \frac{1}{\text{s}} \\
 \Delta \text{шагсек} &:= \text{шагсек} - \text{шагсек} \cdot 0.95 = 0.014 \frac{1}{\text{s}} \\
 \text{точность} &:= \frac{\Delta \text{шагсек}}{100} = 0.000138 \frac{1}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Рисунок 4 – Расчет скорости работы таймера

Данные обрабатываются на компьютере с использованием языка программирования Python. Полученная информация преобразуется в угловую скорость и отображается на графиках, показанных на рис. 5. На графиках А и В путь пройден без нагрузки, на графиках Б и Г - с нагрузкой. На графиках А и Б данные без обработки, на графиках В и Г данные обработаны цифровым фильтром первого порядка. Графики 3 и 4 соответствуют данным с задних колес диаметром в 200 мм, а графики 1 и 2 – данным с передних колес диаметром в 250 мм.

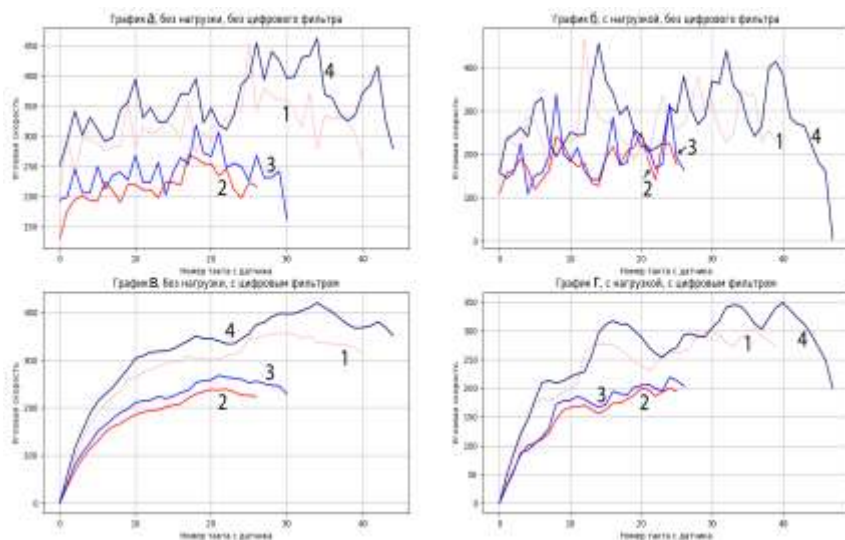


Рисунок 5 – Графики угловой скорости колес экспериментальной установки
1, 2 – передние колеса; 3, 4 – задние колеса

Колебания большей частоты на графиках Б и Г связаны с неровностью пола, а соответственно с неравномерным сжатием задних (нагрузочных) колес, из-за этого происходили рывки в угловой скорости. Эти колебания можно заметить на графиках А и В, но они менее выражены. Другие шумы обусловлены неодинаковым размером меток на колесе и неидеальным алгоритмом измерения времени между меток. Как можно заметить, несмотря на разный радиус передних и задних колес, при повороте передних колес на 30 градусов скорость переднего колеса (на графике под номером 2), являющегося внутренним при повороте, почти равна скорости вращения заднего колеса (на графике под номером 3), так же являющегося внутренним при повороте.

Следующее испытание проведено по прямолинейной траектории. Было получено отношение угловой скорости между передними и задними колесами, результат показан на рис. 6. График под номером 2 без нагрузки, под номером 1 с нагрузкой. Как видно, на графике под номером 1 отношение меньше, чем на втором, поскольку при уменьшении радиуса колес под нагрузкой увеличивается их скорость вращения.

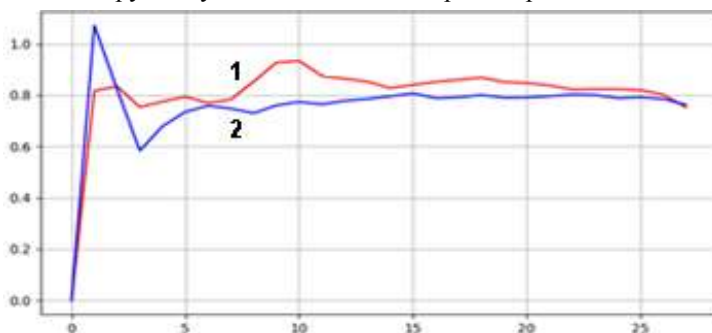


Рисунок 6 – Отношение скоростей при движении экспериментальной установки по прямолинейной траектории

Из всего выше перечисленного следует, что есть необходимость ввода поправочного коэффициента при повороте колес. А также стоит отметить, что отношение скоростей нагруженных и не нагруженных колес достаточно даже для колес такого малого диаметра.

Литература. 1. Хархута, Н. Я. Дорожные машины / Н. Я. Хархута. и др. – М. : Машиностроение, 1968. – 416 с. (URL: <http://www.twirpx.com/file/32459/>) 2. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. — Введ. 1985-07-01. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 27 с. 3. Савельев, С. В. Применение инновационного устройства контроля качества уплотнения грунта дорожно-строительной машиной «каток» / С.В. Савельев, Г.Г. Бурый, И.К. Потеряев, А.С. Белодед//Известия ТулГТУ. Технические науки.2016, вып.3.С.212-216. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/primenenie-innovatsionnogo-ustroystva-kontrolya-kachestva-uplotneniya-grunta-dorozhno-stroitelnoy-mashinoy-katok> 4. Лежнев, А.П. Патент 2082850 РФ, МПК Е01П1/00, Е01С23/07.Способ непрерывного контроля качества уплотнения грунта и устройство непрерывного контроля качества уплотнения грунта / А.П. Лежнев, А.Д. Суворов, И.В. Сороколетов. Опубл. 27.06.1997. Бюл. №6.-5с. 5. RM0008 Reference manual [Электронный ресурс], - Режим доступа: http://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00171190.pdf

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, АлтГТУ, ФИТ, д.т.н., проф. Якунину А.Г., магистранту Моргунову Ю.Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ДОСМОТРОВОГО КОНТРОЛЯ БАГАЖА И РУЧНОЙ КЛАДИ С ФУНКЦИЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

К.А. КОНЮШКОВ, С.П. ОСИПОВ, С.А. ЩЕТИНКИН

Для обеспечения безопасности пассажирских перевозок, пресечения провоза запрещённых или не указанных в декларации изделий широко применяются системы досмотрового контроля багажа и ручной клади с функцией распознавания материалов объектов и их структурных фрагментов [1, 2]. Для реализации функции распознавания материалов используется метод дуальных энергий (МДЭ) [1–5]. Параметром распознавания в МДЭ является эффективный атомный номер [4, 5] или функция от него. Известны несколько модификаций МДЭ, среди которых можно выделить две. В первой модификации МДЭ объект контроля сканируется пучками рентгеновского излучения с двумя специальным образом подобранными максимальными энергиями [4, 6]. Максимальные энергии рентгеновского излучения подбираются таким образом, чтобы преобладающим эффектом взаимодействия фотонов с меньшей энергией с веществом являлся фотоэффект, а для фотонов с большей энергией – эффект Комптона. Во второй модификации МДЭ объект контроля (ОК) сканируется пучком рентгеновского излучения с одной максимальной энергией с регистрацией излучения сэндвич детектором [6–8]. Сэндвич детектор состоит из двух детекторов, разделённых фильтром [7, 8]. В первом детекторе регистрируется преимущественно мягкая составляющая энергетического спектра рентгеновского излучения, а во втором детекторе – преимущественно жёсткую составляющую. Фильтр предназначен для ещё большего ужесточения излучения. Дальнейшее развитие МДЭ связывают с отдельной регистрацией излучения в различных энергетических окнах [9]. Наибольшая привлекательность второй модификации МДЭ для потребителя связана с однократностью сканирования ОК и, следовательно, с высокой производительностью контроля. Качество досмотровых комплексов на основе второй модификации МДЭ определяется точностью измерения эффективного атомного номера материала ОК и зависит от максимальной энергии рентгеновского излучения, параметров ОК, параметров первого и второго детекторов и фильтра. Объект характеризуется массовой толщиной ρh , равной произведению плотности материала ОК ρ на толщину h ОК, и эффективным атомным номером Z_{eff} . Свойства первого и второго детекторов, а также фильтра связаны с их материалами и массовыми толщинами $\rho_L h_L$, $\rho_H h_H$ и $\rho_F h_F$. Из сказанного выше следует, что качество досмотровых систем багажа и ручной клади с функцией распознавания материалов зависит большого количества параметров, поэтому проектирование таких систем невозможно без разработ-

ки соответствующей математической модели и алгоритма и программы для получения изображений параметров распознавания ОК с фрагментами из зоны потребительского интереса.

Целью работы является разработка математической модели досмотровой системы багажа и ручной клади с функцией распознавания методом дуальных энергий на основе сэндвич детекторов и разработка соответствующих алгоритма и программы для получения изображений параметра распознавания ОК.

Детерминированная составляющая математической модели. В анализируемой модификации МДЭ объект сканируется пучком рентгеновского излучения с энергетическим спектром $f(E, E_{\max})$, здесь $E_{\max}$ – максимальная энергия излучения. Под энергетическим спектром понимается плотность распределения случайной величины E , которая распределена в интервале от 0 до $E_{\max}$.

Выше отмечено, что рентгеновское излучение регистрируется двумя детекторами, которые расположены последовательно друг за другом по направлению распространения первичных фотонов [6–8]. Чувствительные объёмы детекторов отделены фильтром.

Сигналы с первого и второго детекторов без ОК I_{0L} , I_{0H} и с ОК I_L , I_H применительно к анализируемой модификации МДЭ связаны с параметрами досмотровой системы и параметрами ОК (ρh , Z) следующим образом

$$Y_L(\rho h, Z) = -\ln \frac{\int_0^{E_{\max}} E_L(E) f(E, E_{\max}) e^{-m(E, Z)\rho h} \varepsilon_L(E) dE}{\int_0^{E_{\max}} E_L(E) f(E, E_{\max}) \varepsilon_L(E) dE} = -\ln \frac{I_L}{I_{0L}} = y_L$$

$$Y_H(\rho h, Z) = -\ln \frac{\int_0^{E_{\max}} E_H(E) f * (E, E_{\max}) e^{-m(E, Z)\rho h} \varepsilon_H(E) dE}{\int_0^{E_{\max}} E_H(E) f * (E, E_{\max}) \varepsilon_H(E) dE} = -\ln \frac{I_H}{I_{0H}} = y_H, \quad (1)$$

где $f * (E, E_{\max}) = f(E, E_{\max}) e^{-m_L(E, Z_L)\rho_L h_L - m_F(E, Z_F)\rho_F h_F}$; $E_L(E)$, $E_H(E)$, $\varepsilon_L(E)$, $\varepsilon_H(E)$ – энергетические зависимости среднего значения энергии зарегистрированного фотона и эффективности регистрации для первого и второго детектора соответственно; $m(E, Z)$ – энергетическая зависимость массового коэффициента ослабления (МКО) рентгеновского излучения материалом с эффективным атомным номером Z . В системе (1) величины y_L и y_H представляют собой оценки толщин ОК в длинах свободного пробега (д.с.п.) для мягкой и жёсткой области энергетического спектра рентгеновского излучения.

Функции $Y_L(\rho h, Z)$ и $Y_H(\rho h, Z)$ могут оцениваться расчётным путём –

отношение интегралов в системе (1) либо на стадии калибровок при просвечивании тестового объекта с фрагментами, отличающимися друг от друга по массовой толщине и эффективному атомному номеру.

Решение системы (1) относительно неизвестной Z называется оценкой эффективного атомного номера Z_{eff} .

Система (1) представляет собой уравнение для одновременного измерения эффективной массовой толщины и эффективного атомного номера. Должно выполняться требование существования и единственности решения системы (1) на всей области потребительского интереса ρZ :

$$\rho Z = \{(ph, Z) : (ph)_{\min} \leq ph \leq (ph)_{\max}; Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}\}, \quad (2)$$

где $(ph)_{\min}$, $(ph)_{\max}$, $Z_{\min}$, $Z_{\max}$ – минимальные и максимальные значения массовой толщины ОК и эффективного атомного номера материала ОК.

В качестве калибровочных функций $Y_L(ph, Z)$ и $Y_H(ph, Z)$ для системы (1) необходимо использовать непрерывные, гладкие и возрастающие аппроксимирующие функции. Применение гладких аппроксимаций позволяет получить однозначные оценки Z_{eff} .

Система (1) в совокупности с (2) определяет детерминированную составляющую математической модели досмотровой системы багажа и ручной клади с функцией распознавания методом дуальных энергий.

Статистическая составляющая математической модели. Статистическая составляющая погрешности измерения Z_{eff} определяется шумами исходных сигналов без ОК Φ_{0L} , Φ_{0H} и с ОК Φ_L , Φ_H . Система (1), дополненная шумами, примет вид

$$\begin{aligned} Y_L(ph, Z) &= \ln(I_{0L} + \Phi_{0L}) - \ln(I_L + \Phi_L) \\ Y_H(ph, Z) &= \ln(I_{0H} + \Phi_{0H}) - \ln(I_H + \Phi_H) \end{aligned} \quad (3)$$

В уравнениях (3) I_{0L} , I_{0H} и I_L , I_H – средние значения соответствующих сигналов. Случайные величины Φ_{0L} , Φ_{0H} , Φ_L , Φ_H распределены по Гауссу с параметрами

$$\begin{aligned} \overline{\Phi_{0L}} &= 0 \quad \overline{\Phi_L} = 0 \quad \overline{\Phi_{0H}} = 0 \quad \overline{\Phi_H} = 0 \\ \sigma\Phi_{0L} &= \sigma_{0L} \quad \sigma\Phi_L = \sigma_L \quad \sigma\Phi_{0H} = \sigma\Phi_{0H} \quad \sigma\Phi_H = \sigma\Phi_H. \end{aligned} \quad (4)$$

Среднеквадратические отклонения анализируемых случайных величин находятся по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_L^2(ph, Z) &= n_0 \overline{E_L^2}(ph, Z) N_L(ph, Z) \\ \sigma_H^2(ph, Z) &= n_0 \overline{E_H^2}(ph, Z) N_H(ph, Z) \end{aligned} \quad (5)$$

В выражениях (5) n_0 – число фотонов, падающих на фронтальную поверхность сэндвич детектора; $\overline{E_L^2}(ph, Z)$, $\overline{E_H^2}(ph, Z)$ – средние значения квадратов энергий зарегистрированных фотонов; $N_L(ph, Z)$, $N_H(ph, Z)$ – средние значения зарегистрированных фотонов в детекторах, вычисляемые по (6):

$$N_L(\rho h, Z) = n_0 \int_0^{E_{\max}} f(E, E_{\max}) e^{-m(E, Z)\rho h} \varepsilon_L(E) dE$$

$$N_H(\rho h, Z) = n_0 \int_0^{E_{\max}} f^*(E, E_{\max}) e^{-m(E, Z)\rho h} \varepsilon_H(E) dE$$
(6)

Формулы для вычисления $\overline{E_L^2}(\rho h, Z), \overline{E_H^2}(\rho h, Z)$ имеют вид:

$$\overline{E_L^2}(\rho h, Z) = n_0 \int_0^{E_{\max}} \overline{E_L^2}(E) f(E, E_{\max}) e^{-m(E, Z)\rho h} \varepsilon_L(E) dE$$

$$\overline{E_H^2}(\rho h, Z) = n_0 \int_0^{E_{\max}} \overline{E_H^2}(E) f^*(E, E_{\max}) e^{-m(E, Z)\rho h} \varepsilon_H(E) dE$$
(7)

В (7) $\overline{E_L^2}(E), \overline{E_H^2}(E)$ – энергетические зависимости средних значений квадратов зарегистрированных энергий.

Совокупность выражений (1)–(7) описывает разрабатываемую математическую модель в целом.

Алгоритм и программа имитации изображений параметра распознавания. Выражения (1)–(7) позволяют разработать алгоритм имитации изображений параметра распознавания.

Приведём поэтапное описание алгоритма.

1. Объект контроля состоит из конечного числа фрагментов. Определяем набор пар $\{(\rho_i h_i, Z_i), i=1 \dots M\}$. Для совокупности точек изображения $(x, y) \in [0, X] \times [0, Y]$ построим зависимости $(\rho h)(x, y)$ и $Z(x, y)$.

2. Выбираются параметры системы: материал первого детектора; материал второго детектора; материал фильтра; $E_{\max}$; $\rho_L h_L$; $\rho_H h_H$; $\rho_F h_F$, n_0 .

3. Строятся калибровочные функции $Y_L(\rho h, Z)$ и $Y_H(\rho h, Z)$ с перекрытием по массовой толщине и атомному номеру.

4. По зависимостям $(\rho h)(x, y)$ и $Z(x, y)$ формируются изображения $y_L(x, y)$ и $y_H(x, y)$ без шумов.

5. Рассчитываются распределения среднеквадратических отклонений $\sigma_L(x, y)$ и $\sigma_H(x, y)$.

6. Моделируются случайные величины $\Phi_L(x, y)$ и $\Phi_H(x, y)$, распределённые по Гауссу с параметрами $(0, \sigma_L(x, y))$ и $(0, \sigma_H(x, y))$.

7. Формируются зашумлённые изображения $y_{Ln}(x, y) = y_L(x, y) + \Phi_L(x, y)$ и $y_{Hn}(x, y) = y_H(x, y) + \Phi_H(x, y)$.

9. Находятся распределения оценок массовой толщины и эффективно-го атомного номера $(\rho h)_{\text{eff}}(x, y)$ и $Z_{\text{eff}}(x, y)$.

10. Формируется полутоновое цветное изображение, чем больше значение $(\rho h)_{\text{eff}}$, тем меньше яркость пикселя, цвет выбирается по значению и Z_{eff} в соответствии с заранее определённой палитрой.

Описанный алгоритм легко реализуется в системе MathCad. В этой системе выражения (1)–(7) записываются наиболее естественным образом. В MathCad имеются все средства для интерполяции, аппроксимации, решения систем уравнений, моделирования случайных величин, формирования цветных изображений и т.п.

Разработанная модель досмотровой системы багажа и ручной клади с функцией распознавания материалов может быть использована на стадии проектирования с целью выбора рациональных параметров систем.

Пример расчёта. Для оценки систематической погрешности измерения Z_{eff} была проведена серия расчётов $Z_{\text{eff}}(\rho h, Z)$ для $E_{\text{max}} = 160$ кэВ, $h_L = 0,05$ мм (GdSO_2), $h_H = 10$ (CsI), $h_F = 0,5$ мм (Cu). Массовая толщина ОК изменялась в диапазоне от 1 г/см^2 до 5 г/см^2 , а атомный номер материала ОК от 5 (бор) до 29 (медь). Погрешность измерения Z_{eff} не превысила уровня $\pm 0,8$. Полученного уровня достаточно для решения задач досмотрового контроля.

Литература. 1. Duvillier J. Inline multi-material identification via dual energy radiographic measurements / J. Duvillier et al. // NDT & E International. – 2018. – Vol. 94. – P. 120–125. 2. Karoly S. Technologies to counter aviation security threats / S. Karoly // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2017. – Vol. 1898. – no. 1. – no. article 050002. 3. Осипов С.П. Распознавание материалов методом дуальных энергий при радиационном контроле объектов / С.П. Осипов и др. // Дефектоскопия. – 2017. – № 8. – С. 35–56. 4. Клименов В.А. Идентификация вещества объекта контроля методом дуальных энергий / В.А. Клименов и др. // Дефектоскопия. – 2013. – № 11. – С. 40–50. 5. Bonnin A. Concept of effective atomic number and effective mass density in dual-energy X-ray computed tomography / A. Bonnin et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2014. – Vol. 318. – P. 223–231. 6. Rebuffel V. Dual-energy X-ray imaging: benefits and limits / V. Rebuffel et al. // Insight-non-destructive testing and condition monitoring. – 2007. – Vol. 49. – no. 10. – P. 589–594. 7. Brooks R.A. Split-detector computed tomography: A preliminary report / R.A. Brooks et al. // Radiology. – 1978. – Vol. 126. – P. 255–257. 8. Barnes G.T. Detector for dual-energy digital radiography / G.T. Barnes et al. // Radiology. – 1985. – Vol. 156. – no. 2. – P. 537–540. 9. Fredenberg E. Spectral and dual-energy X-ray imaging for medical applications / E. Fredenberg // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2018. – Vol. 878. – P. 74–87. 10. X-ray mass attenuation coefficients. <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html>

Реквизиты для справок: Россия, 634050, Томск, пр. Ленина 30, Томский политехнический университет, кандидату технических наук, Осипову С.П., тел. +7 923 401-15-59. E-mail: osip1809@rambler.ru

3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОЛС-ПАТТЕРНОВ В ПОТОКЕ ДАННЫХ

Д.В. ДУЛЬЦЕВ, Л.И. СУЧКОВА

Данные в информационно-измерительных системах помимо информационной части, обладают темпоральной частью, отражающей время их появления в системе. Для организации хранения известных закономерностей изменения темпоральных данных во временных рядах (ВР) предлагается использовать гибридный ОЛС-паттерн, представляющий собой один или группу односвязных линейных списков (ОЛС).

Каждый его элемент представляет собой триплет вида (a_i, m_i, τ_i) , где a_i – нечеткий терм, m_i – число шагов дискретизации паттерна и τ_i – интервал времени до появления следующего элемента. Нечеткий терм a_i представляет собой терм лингвистической переменной, полученный при фаззификации числовых данных наблюдений в соответствии с функцией принадлежности лингвистической переменной, сопоставленной с нечетким временным рядом (НВР) [1].

В общем виде ОЛС-паттерн выглядит следующим образом (1).

$$P = p_0 \rightarrow p_1 \rightarrow \dots \rightarrow p_r, \quad (1)$$

где

r – количество элементов списка;

p_i – триплет - текущий элемент списка.

Помимо триплетов из которых состоит ОЛС-паттерн, важным его элементом является шаг дискретизации dl . Это значение формируется исходя из периодичности измерения или расчета реальных данных таким образом, чтобы было возможно анализировать отсчеты НВР на промежутках времени, превышающих временной шаг ряда dt . В общем случае шаг дискретизации для анализа термов dl больше либо равен шагу дискретизации при наблюдении реальных данных dt .

На рис. 1 представлены примеры ОЛС-паттернов и соответствие их наблюдаемым термам. Для идентификации нештатных ситуаций в реальном времени на контролируемых объектах в состав базы знаний системы принятия решений включаются описания ОЛС-паттернов, каждый из которых сопоставляется состоянию контролируемого объекта. Для принятия решений в режиме онлайн требуется сопоставить реальные данные измерений с имеющимися ОЛС-паттернами.

Рассмотрим подробно алгоритм поиска подходящего паттерна из набора ОЛС-паттернов, существующих в базе знаний. Кроме наблюдаемого

значения x_i , основных элементов ОЛС-паттерна и шагов дискретизации в алгоритме используется множество вспомогательных переменных предназначенных для реализации поиска в онлайн режиме.



Рисунок 1 – Соответствие между ОЛС-паттернами и реальными данными

На рис. 2 представлены фрагменты алгоритма, отвечающие за основную операцию идентификации – поиск ОЛС-паттерна. В алгоритме используются следующие переменные:

P_k – указатель на первый триплет паттерна, причем во время работы алгоритма указатели не меняются;

Q_k – указатель на текущий триплет паттерна, во время работы алгоритма указатель смещается либо на следующий триплет, либо на первый триплет паттерна;

pS_k – числовое значение, отражающее допустимый временной промежуток наблюдения терма для текущего триплета;

nS_k – числовое значение, отражающее допустимый временной промежуток наблюдения незначимых данных, следующих за текущим триплетом;

k – номер паттерна.

Алгоритм начинается с проверки текущего наблюдаемого значения на соответствие терму текущего триплета ОЛС-паттерна. В случае положительного результата проверки выполняется True-ветка алгоритма, в ином случае – False-ветка.

В True-ветке происходит корректировка значений pS_k и nS_k , а также проверка на соответствие паттерну. Фрагменты этой ветки представлены на рис. 2. Фрагмент на рис. 2а отвечает за изменение pS_k , которое показывает, сколько времени еще должен наблюдаться терм текущего триплета. Фрагмент на рис. 2б проверяет, не истекло ли допустимое шаблонное время наблюдения терма. Если это так, то либо происходит вычисление величины nS_k , которая показывает, сколько времени осталось до появления данных следующего триплета, если он существует, либо фор-

мируется сигнал об обнаружении ОЛС-паттерна, если текущий триплет являлся последним.

В False-ветке происходит корректировка значения nS_k , а также проверка на необходимость сброса указателя на начало паттерна. Фрагмент False-ветки, представленный на рис. 3, проверяет окончание времени до следующего триплета, и в случае истечения этого времени происходит сброс указателя на первый триплет текущего ОЛС-паттерна, в противном случае – корректировка nS_k .

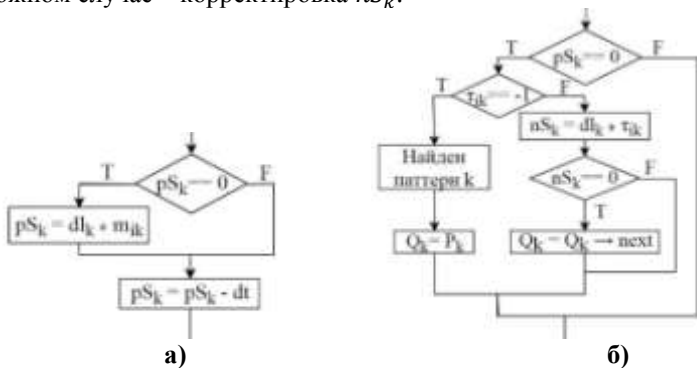


Рисунок 2 – Фрагменты True-ветки

Как в True, так и в False-ветке после формирования или корректировки nS_k осуществляется проверка окончания времени до наблюдения следующего триплета и в случае окончания времени происходит переход на следующий триплет ОЛС-паттерна.

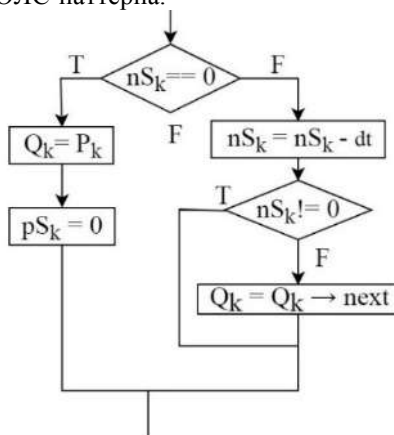


Рисунок 3 – Фрагмент False-ветки

Описанная часть алгоритма позволяет находить паттерны в простых ситуациях, например, представленных на рис. 1. Пример нахождения одного из представленных ОЛС-паттернов в потоке данных представлен на рис. 4. Однако могут быть ситуации взаимного перекрытия данных разных паттернов, например, как в ситуации, изображенной на рис. 5.

Особенность идентификации паттернов при перекрытии данных заключается в том, что рассматривать необходимо не первый подходящий элемент, а последующие, чтобы ОЛС-паттерн был найден, в ином случае этот паттерн будет пропущен. Для этой цели алгоритм был модифицирован с помощью использования дополнительных переменных и нескольких блок-схем.



Рисунок 4 – Нахождение паттерна при отсутствии перекрытия данных



Рисунок 5 – Пример перекрытия данных ОЛС-паттернов

Дополнительные переменные:

sT_k – числовое значение, отражающее количество термов, равных $sTerm_k$, появившихся в начале наблюдения и позволяющее сместить старт наблюдений на это значение;

$sTerm_k$ – терм, наблюдаемый несколько раз и равный терму первого триплета.

На рис. 6 изображен фрагмент блок-схемы, расположенный в True-ветке, который осуществляет уменьшение счётчика смещения старта в случае если терм $sTerm_k$ был сброшен.

На рис. 7 представлены два фрагмента ветки False. Фрагмент 7,а выполняет либо увеличение счётчика смещения старта, либо сброс терма $sTerm_k$ в зависимости от значения счётчика и был ли сброшен терм. Фрагмент 7,б описывает процесс уменьшения счётчика смещения старта при положительном его значении или сброс указателя на начало ОЛС-паттерна в противном случае.

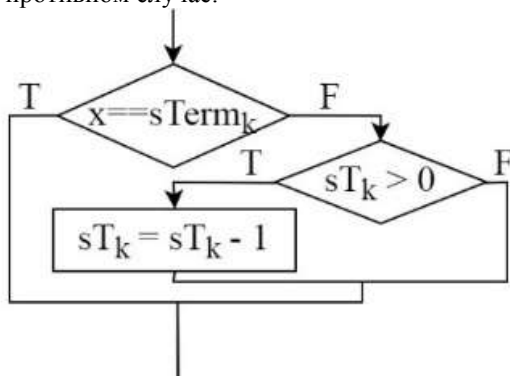


Рисунок 6 – Фрагмент ветки True

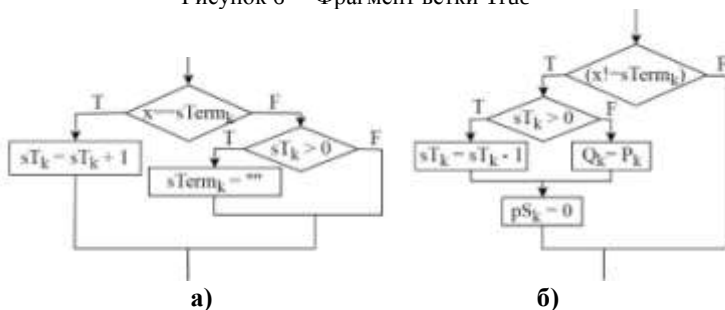


Рисунок 7 – Фрагменты False-ветки

Пример обнаружения одного из представленных ОЛС-паттернов в потоке данных представлен на рис. 8.



Рисунок 8 – Нахождение паттерна при перекрытии данных

В результате работы был создан алгоритм поиска ОЛС-паттернов для одного односвязного линейного списка, соответствующего одному параметру контролируемого объекта. В перспективе планируется модифицировать алгоритм для осуществления работы с ОЛС-паттернами, состоящими из групп односвязных линейных списков, поскольку это имеет важное практическое значения, так как обычно контролируемый объект характеризуется несколькими параметрами.

Литература. 1. Сучкова Л.И. Подход к прогнозированию нештатных ситуаций в системах мониторинга с использованием паттернов поведения группы временных рядов [Текст] / Л.И. Сучкова // Ползуновский вестник. – 2013. – №2. – С. 88-92.

РАЗРАБОТКА СВАРОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ШВОВ МЕТОДОМ ПРЕССОВОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ

В.Н. ХМЕЛЁВ, В.А. НЕСТЕРОВ, А.В. ШАЛУНОВ, А.Н. СЛИВИН,
В.С. ЗЕЛЕНОВ, И.Д. АНДРЕЕВ

В настоящее время полимерные материалы применяются во всех отраслях промышленности. Особый интерес представляют изделия из полимерных материалов, при производстве которых необходимо обеспечение герметичного прочного сварного соединения. Из всего разнообразия способов соединения полимерных материалов наиболее эффективным, востребованным и надежным способом соединения полимерных материалов является ультразвуковая (УЗ) сварка [1-7]. На сегодняшний день ультразвуковое сварочное оборудование представлено в различных вариантах, при этом востребованными современной промышленностью являются ультразвуковые аппараты для шовно-шаговой прессовой сварки [5-12]. Такие аппараты имеют в качестве рабочего органа ультразвуковую колебательную систему со сварочным инструментом, позволяющим за один цикл сварки формировать швы длиной более 150 мм. В случаях,

когда необходимо обеспечить формирование сварного шва, размеры которого сравнимы или превосходят полудлину волны в материале, из которого изготовлен ультразвуковой сварочный инструмент, применяются предельно высокие требования к волноводам для УЗ сварки термопластичных материалов. Поперечные размеры волновода, в таком случае, также становятся сравнимы или превосходят полудлину продольной волны. При этом колебания волновода приобретают сложный характер, и необходимо использовать специальные конструкторские приемы для достижения равномерности амплитуды колебаний сварочной поверхности рабочего инструмента, поскольку лишь в таком случае возможно получить однородный высококачественный шов. При этом без внедрения дополнительных элементов в конструкцию УЗ сварочного инструмента (пазов, фасок, фрезеровок) обеспечить равномерное распределение амплитуды колебаний вдоль излучающей поверхности невозможно. Наряду с обеспечением равномерности требует решения еще одна задача, заключающаяся в снижении местных механических напряжений в материале инструментов до допустимого уровня. Превышение механических напряжений приводит к поломкам ультразвуковых сварочных инструментов данного типа. Проблемными зонами в конструкции инструментов являются области, показанные на рис. 1. Предварительные расчеты показывают, что образование трещин происходит в области высоких амплитуд, на границе с выполненным пазом. На рис. 2 представлена картина распределения механических напряжений треснутого УЗ сварочного инструмента. По этой причине, решение задач обеспечения равномерности амплитуды колебаний излучающей поверхности и снижения местных механических напряжений, при разработке сварочных инструментов для прессовой шовной УЗ сварки представляет собой сложную, многофакторную задачу.

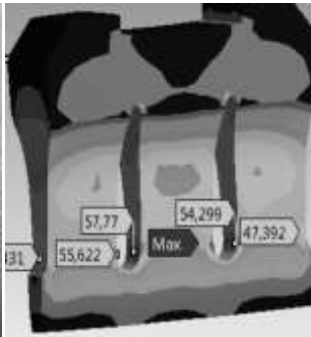
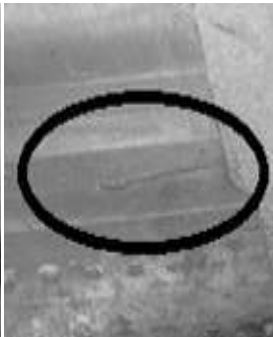


Рисунок 1 – УЗ сварочный инструмент с трещиной в зоне максимальных механических напряжений

Рисунок 2 – Распределение механических напряжений треснутого УЗ сварочного инструмента

Таким образом, целью работы является исследование характеристик различных конфигураций ультразвуковых инструментов и использования полученных данных для разработки оптимизированных конструкций ультразвуковых сварочных инструментов для шовно-прессовой сварки. Известно, что для обеспечения равномерной амплитуды колебаний на практике используют несколько способов модификации формы пластины. Одним из основных приёмов для достижения продольных колебаний волновода является введение пазов, расположенных так, чтобы частично разделить размер конструкции инструмента поперек на стержневые участки – концентраторы, способные колебаться в «продольной моде». Также возможно выполнение отверстий, локальное изменение толщины, добавление механических фильтров. Вместе с тем, на первом этапе разработки необходимо предложить и использовать сварочный инструмент, форма которого при последующей модификации обеспечит формирование колебаний с амплитудой, необходимой для обеспечения качественного сварного соединения. Как известно из работ по теории и практике ультразвуковой сварки [1], это значение составляет около 38–42 мкм. Сам рабочий инструмент также должен обеспечивать некоторый коэффициент усиления. Таким образом, форма рабочего инструмента должна быть таковой, чтобы в своем поперечном сечении представлять трансформатор колебательной скорости – концентратор. На первом этапе проектирования УЗ инструмента необходим расчет профиля поперечного сечения сварочного инструмента, обеспечивающего требуемые характеристики. На рис. 3 представлен наиболее удовлетворяющий профиль инструмента.

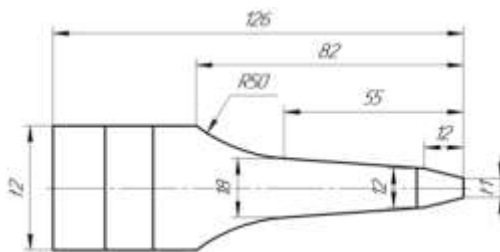


Рисунок 3 – Профиль поперечного сечения ультразвукового сварочного инструмента

Представленный профиль поперечного сечения сочетает в себе радиальный переход с сужением к сварочной поверхности. Область профиля с радиальным переходом обеспечивает большой коэффициент трансформации. За счет этого концентраторы, имеющие представленный профиль, обладают низкими механическими напряжениями и могут быть использованы при работе с наибольшими амплитудами смещения.

коэффициент трансформации в большей степени зависит от соотношения между размерами t_1 и t_2 , при этом расчет механических напряжений осуществляется посредством методики расчета, описанной в [12]. Размер t_1 обуславливается требуемой шириной шва. При этом коэффициент трансформации в определенной области сварочной поверхности инструмента определялся как отношение значения амплитуды на сварочной поверхности в данной точке к значению амплитуды на входе (амплитуда колебаний в области присоединения сварочного инструмента к УЗКС):

$$K_i = \frac{A_{вх}}{A_{вых}}, \quad (1)$$

где $A_{вх}$ – значение амплитуды колебаний на входе; $A_{вых}$ – значения амплитуд колебаний на рабочей поверхности.

Равномерность амплитуды колебаний оценивается как среднеквадратическое отклонение (СКО) коэффициентов трансформации инструмента по нескольким точкам на рабочей поверхности. Чем меньше СКО, тем равномернее амплитуда колебаний. Таким образом, среднеквадратическое отклонение коэффициентов трансформации вычисляется по формуле (2):

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (K_i - \bar{K})^2} \quad (2)$$

где K_i – i -й элемент выборки; n – объём выборки; $\bar{K}$ – среднее выборки.

Для корректировки геометрических размеров различных элементов разрабатываемой трехмерной модели рабочего инструмента и исследования распределения амплитуды колебаний было предложено использовать прямой численный метод конечных элементов. При этом разработка трехмерных моделей сварочных инструментов осуществлялась посредством системы автоматизированного твердотельного проектирования. Для достижения равномерного распределения амплитуды колебаний сварочной поверхности одним из основных способов модификации пластины является добавление продольных сквозных пазов и корректировка их формы. Они служат для того, что бы разорвать связь между участками плоского волновода. На рис. 4 представлен эскиз ультразвукового сварочного инструмента с размерами, подлежащими варьированию.

В процессе разработки оптимальной модели УЗ сварочного инструмента была проведена многофакторная оптимизация инструмента, в процессе которой варьированию подвергались следующие параметры: количество пазов (параметр N); значения верхних и нижних радиусов пазов (параметры $R(1)$ и $R(2)$); высота пазов – межосевое расстояние (параметр M).

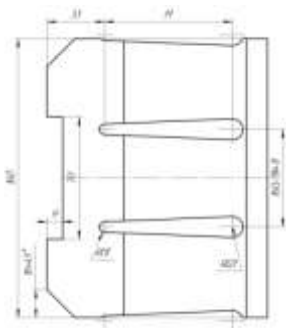


Рисунок 4 – Эскиз модели ультразвукового сварочного инструмента

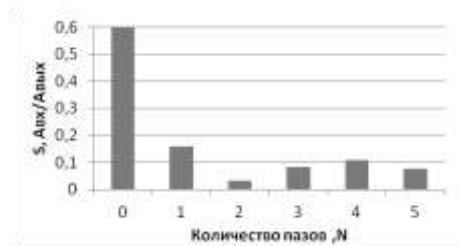
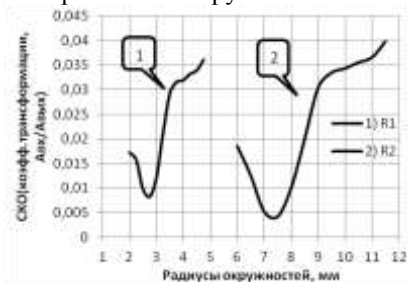


Рисунок 5 – Гистограмма зависимости СКО коэффициентов трансформации от количества прорезей

Также повышению равномерности способствует добавление фасок и выполнение центрального паза в области крепления сварочного инструмента к УЗКС. Перечисленные элементы в большей степени предназначены для выравнивания амплитуды крайних областей сварочной поверхности рабочего инструмента, и в данной работе влияние их размеров на распределение амплитуд колебаний не рассматривается. Основными критериями оптимизации являются равномерность амплитуды колебаний на рабочей поверхности сварочного инструмента, а также минимизация механических напряжений в области наклонного перехода вблизи пазов. На первом этапе оптимизации изменяемым параметром конструкции является количество прорезей, которое варьируется от 0 до 5. На рис. 5 показана гистограмма СКО коэффициентов трансформации в зависимости от количества прорезей: Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что наилучшая равномерность распределения амплитуд колебаний на рабочей поверхности (минимальное значение СКО) достигается при выполнении двух прорезей. Дальнейшая оптимизация формы сварочного инструмента будет проводиться при фиксированном значении количества пазов ($N=2$). На следующем этапе исследований изменялись значения верхнего и нижнего радиусов выполненных пазов. Значения для верхнего радиуса изменяются в пределах от 1,5 мм до 5 мм, а для нижнего радиуса от 6 мм до 11 мм. Проведенные расчеты позволили получить зависимость СКО коэффициентов трансформации от радиусов пазов, представленные на рис. 6. Анализ полученных данных показал, что обеспечение максимальной равномерности (минимального значения СКО коэффициентов трансформации) достигается при верхнем радиусе равном 2,7 мм и нижнем радиусе прорези равном 7,5 мм. На последнем этапе оптимизации варьировалась высота пазов (параметр M) от 38 мм до 66 мм. На рис. 7 показан график зависимости СКО коэффициентов трансформации от

расстояния между центрами окружностей прорезей. Анализ полученных данных показал, что наибольшая равномерность амплитуды колебаний на сварочной поверхности достигается при межосевом расстоянии равном 53 мм. На Рис. 8 представлена картина распределения колебаний оптимизированного сварочного инструмента. На Рис. 9 представлена картина распределения механических напряжений оптимизированного УЗ сварочного инструмента.



R1 – верхний радиус ($R_2=6,5$);
R2 – нижний радиус ($R_1=2,7$)
Рисунок 6 – Зависимости СКО коэффициентов трансформации от радиусов

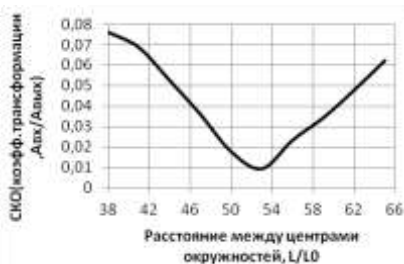


Рисунок 7 – График зависимости СКО коэффициентов трансформации от расстояния между центрами

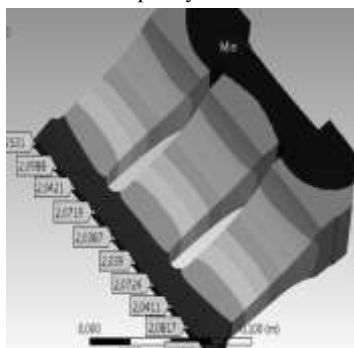


Рисунок 8 – Распределение амплитуд колебаний оптимизированного УЗ сварочного инструмента



Рисунок 9 – Распределение механических напряжений оптимизированного УЗ сварочного инструмента

За счет достижения оптимальных параметров модели зона наибольших механических напряжений сместилась в центральную область инструмента, при этом механические напряжения в области высоких амплитуд сопоставимы с напряжениями в центре. Это позволяет судить о высокой надежности разработанного инструмента. Таким образом, данная конструкция обеспечивает максимальную равномерность амплитуд коле-

баний по рабочей поверхности сварочного инструмента при обеспечении оптимального распределения механических напряжений. В таблице 1 приведены параметры разработанного сварочного инструмента для шовной прессовой сварки. Далее был изготовлен ультразвуковой сварочный инструмент с указанными выше оптимальными параметрами (рис. 10). Для проведения эксперимента излучающая поверхность пластины была разделена на десять точек, в каждой из которых определена амплитуда.



Рисунок 10 – Ультразвуковой сварочный инструмент для формирования продольных швов

Таблица 1 – Параметры разработанного инструмента

Параметр	Значение
Собственная частота колебаний, кГц	21,0
Длина сварочной поверхности, мм	160
Ширина сварочной поверхности, мм	6
Коэффициент трансформации	2,1
Равномерность амплитуды колебаний (СКО)	0,01
Количество пазов	2
Верхний радиус	2,7
Нижний радиус	7,5
Высота паза	53

Для определения значений амплитуд колебаний в различных точках на поверхности сварочного инструмента был использован лабораторный стенд для контроля амплитуды колебаний [4]. Фотография лабораторного стенда представлена на рис. 11. В результате измерений получено распределение амплитуд колебаний по излучающей поверхности сварочного инструмента, показанное на рис. 12. Анализ полученных данных позволил установить, что теоретические значения отличаются не более чем на 5% от экспериментально полученного распределения, что подтверждает правильность произведённых расчётов. При этом частота собственных колебаний изготовленного рабочего инструмента составила 21250 Гц, при этом теоретическая частота - 21020 Гц. Таким образом, частоты отличаются не более чем на 2%. Также из распределения видно, что экспериментально полученные коэффициенты трансформации ниже теоретических. Это объясняется тем, что в материале инструмента присутствуют внутренние потери, что в теоретической модели не было учтено. Проведенные исследования зависимостей распределения амплитуды колебаний вдоль поверхности при различных модификациях формы рабочего инст-

румента позволили выявить условия обеспечения равномерного распределения амплитуды.



Рисунок 11 – Стенд для контроля амплитуды колебаний: 1 – осциллограф; 2 – генератор; 3 – ультразвуковой сварочный инструмент; 4 – пьезоэлектрический щуп

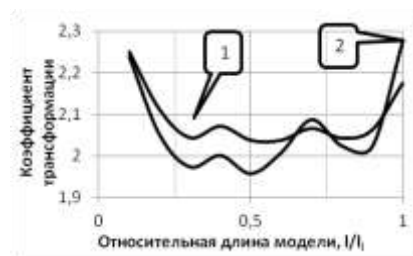


Рисунок 12 – Графики зависимости относительной длины модели от коэффициентов трансформации: 1 – теоретические данные; 2 – экспериментальные данные

Литература 1. Slivin, A.N. The Development of ultrasonic welder for the formation of continuous welding seams / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, A.D. Abramov // XIII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU. 2012. - pp. 148-156. **2.** Lehr, A.V. The Development of ultrasonic welder for the formation of continuous welding seams / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, A.D. Abramov // XIII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU. 2012. - pp.148-156. **3.** Lehr, A.V. Influence of the surface friction on the process of continuous ultrasonic welding of thin polymer films / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr // International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2011: Conference Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2011. - pp. 281-284. **4.** Slivin, A.N. The Development of ultrasonic Vibrating system for the formation of continuous welding seams / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, S.S. Khmelev, A.D. Abramov // XIII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU. 2012. - pp. 157-161. **5.** Nesterov, V.A. Studies of transformation of longitudinal ultrasonic vibrations into radial ones / V.N. Khmelev, V.A. Nesterov, A.N. Slivin, A.V. Lehr // XII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011, Novosibirsk, NSTU. 2011. - pp. 288-291. **6.** Нестеров, В.А. Исследование процесса преобразования продольных ультразвуковых колебаний в радиальные / В.Н. Хмелев, В.А. Нестеров, А.Н. Сливин // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвузовский

сборник / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Вып. 1. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. - 2011. - С. 132-135. 7. Леер, А.В. Контроль параметров ультразвукового аппарата для формирования протяженных сварных швов различной ширины / А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, В.А. Нестеров, А.В. Леер // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП -2010): материалы 7-й Всероссийской научно-технической конференции. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. - 2010. - С. 186-190. 8. Леер, А.В. Влияние поверхностного трения на процесс непрерывной ультразвуковой сварки тонких полимерных пленок / В.Н. Хмелёв, А.Н. Сливин, В.А. Нестеров, А.В. Леер. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвузовский сборник / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Вып. 1. -Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. - 2011. - С. 63-66. 9. Нестеров, В.А. Разработка ультразвукового сварочного аппарата для формирования протяженных сварных швов / В.Н. Хмелев, В.А. Нестеров, А.Н. Сливин // Южно-сибирский научный вестник. - 2012. -№ 2. -С. 147-151. 10. Нестеров, В.А. Разработка ультразвукового сварочного аппарата для формирования протяженных сварных швов / В.Н. Хмелев, В.А. Нестеров, А.Н. Сливин // Всероссийский молодежный конкурс научно-исследовательских работ по фундаментальной и прикладной физике 2012. Сборник трудов. Часть 1. -М.: НИИ Радиоэлектроники и лазерной техники. - 2012. - С. 3-9. 11. Нестеров, В.А. Исследование процесса преобразования продольных ультразвуковых колебаний в радиальные / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, В.А. Нестеров // Южно-сибирский научный вестник. - 2012. - № 1. - С. 132-136. 12. Хмелев В.Н. Сливин А.Н., Абрамов А.Д., Хмелев С.С. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, С.С. Хмелев. - Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. -281 с.

Реквизиты для справок. *Россия, 659305, Бийск, ул. Трофимова 27, Бийский технологический институт АлтГТУ, кафедра методов и средств измерений и автоматизации, д.т.н., профессор Хмелев В.Н. - vnh@bti.secna.ru, к.т.н.; д.т.н., доцент, Шалунов А.В. – shalunov@bti.secna.ru; к.т.н., доцент Нестеров В.А. – nva@bti.secna.ru; доцент Сливин А.Н.– san@bti.secna.ru; студент гр. мПС-74 Зеленов В.С.; студент гр. мПС-74 Андреев И.Д.*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХМИНИАТЮРНЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**С.Ф. ДМИТРИЕВ, А.В. ИШКОВ, А.А. ГРИГОРЬЕВ,
К.А. МУРАВЛЁВ, В.Н. МАЛИКОВ, А.М. ХВОСТОВА, В.А. ГУНЬКОВ**

Успехи современной микро- и оптоэлектроники неразрывно связаны с интенсивным внедрением тонкоплёночных элементов. Структурное со-

стояние и топология нанокристаллических материалов, к которым относятся и тонкие металлические пленки, представляют собой одну из важнейших современных проблем физики твердого тела. В связи с этим экспериментальные исследования особенностей подобных материалов, имеют принципиальное значение для понимания закономерностей формирования наноструктур. Особенно актуальным при этом становится разработка новых методов и приборов, позволяющих производить анализ строения и топологии тонких пленок.

Т.А. de Assis проводил исследования изменяющейся со временем температуры подложки/пленки при осаждении пленки значительной толщины с использованием статистической модели, учитывающей диффузию, коэффициенты модели при этом зависели от таких параметров, как энергия активации и температура [1].

В других работах также изучались кинетические эффекты энергии атома для предсказания эволюции тонких пленок. В последнее время активизировались исследования сверхпроводимости в пленках NbSe_2 .

Целью работы является исследование кинетики окисления тонких пленок и измерение их электропроводности.

В процессе работы над совершенствованием устройств, реализующих вихретоковый метод контроля [2], были созданы сверхминиатюрные вихретоковые преобразователи, которые позволили добиться значительного повышения локализации магнитного поля преобразователя. Достигнутая локальность позволяет проводить исследования наноструктур, в том числе, тонких нанометровых пленок.

Разработанный прибор позволяет, в частности, определить электропроводность, которая позволяет сделать некоторые выводы о свойствах исследуемых пленок. Целью данного исследования являлась разработка методов неразрушающего контроля толщины, электропроводности и кинетики окисления нанопленок Nb-Se, использующихся в качестве контактных и барьерных материалов в условиях низких температур сверхпроводящих электронных устройств. Нанопленки в системе Nb-Se получали методом импульсного (200–250 мс) высоковакуумного (10^{-3} – 10^{-4} Па) напыления при температурах 3000–3200°C от 0,005 до 0,008 г сплава, испаряемого с поверхности ленточного $1 \times 15 \times 0,05$ мм Pt-Pd нагревателя на предварительно отожженные кварцевые или Pt-Pd подложки в вакуумной камере установки АЛА-ТОО типа ИМАШ-20-75.

Удельную электропроводность (σ) нанопленок находили бесконтактным методом вихревых токов (МВТ) с применением разработанного нами сверхминиатюрного вихретокового преобразователя. Измерение электросопротивления пленок (R_x) производили мостовым методом на приборе Е7-11, используя эталонные сопротивления 1 класса точности.

Экспериментальные результаты.

Результаты проведенных измерений электрофизических характеристик нанопленок сплавов Ce:Nb 1:4 и 4:1, полученных при импульсном высоковакуумном напылении их различных количеств на Pt–Pd подложки, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Электрофизические характеристики нанопленок системы Se:Nb (N=5, P=0.95)

Состав сплава, масс. %		Электрофизические характеристики	
Ce	Nb	R_x , Ом	σ , МС/м
20	80	1.04 ± 0.03	2.2 ± 0.2
80	20	$(1.02 \pm 0.4) \cdot 10^{-2}$	$(3.5 \pm 0.2) \cdot 10^5$

Расчет толщины пленки l по формуле (2) на основании данных таблицы 3 проводился методом измерения сопротивления участка цепи в предположении постоянства удельного объемного сопротивления сплава:

$$l = \frac{\sigma \cdot S}{2} \cdot (R_x - R_{lin.}) ,$$

где R_x – сопротивление образца, S – площадь пленки, σ – удельная электропроводность пленки, $R_{lin.}$ – реактивное сопротивление линии, включающее в себя сопротивление проводов, сопротивление двух Pt-Pd-подложек и сумму контактных сопротивлений на границах Cu/Pt и Pt-Pd/Pt-Pd (для нашей установки составило $(3,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$ Ом).

Рассчитанная толщина пленки сплава Niobium-Selenium в соотношении 4:1 составила 60 нанометров, а пленки сплава Niobium-Selenium в соотношении 1:4 – 4 нанометра.

Исследование кинетики окисления нанопленок кислородом воздуха при 25°C проводилось бесконтактным ОМ путем их фотографирования через различные промежутки времени и определения площади уменьшающейся пленки, тогда степень превращения вещества можно рассчитать по уменьшению площади пленки сплава по формуле:

$$\alpha = \frac{S_0 - S_t}{S_0} ,$$

где S_0 и S_t – площадь исходной пленки и пленки в момент времени t .

На рис. 1 представлена кинетика окисления нанопленок сплава Селен-Ниобий в соотношении четыре к одному, на воздухе. Полученные результаты свидетельствуют о наиболее быстром окислении на воздухе нанопленок сплава Селен-Ниобий в соотношении четыре к одному, причем пленка с меньшей проводимостью и меньшей толщиной окисляется быстрее более толстой. Пленки сплава Селен-Ниобий в соотношении

один к четырем окисляются в 10-100 раз медленнее, причем более тонкая пленка с меньшим значением проводимости окисляется медленнее, чем более толстая.

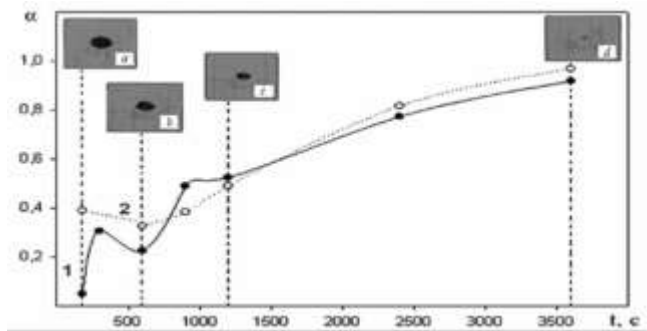


Рисунок 1 – Кинетика окисления нанопленок сплава Selenium-Niobium:
1 – пленка с удельной электропроводностью $3,3 \times 10^5$ MS/m, 2 – пленка с удельной электропроводностью $3,7 \times 10^5$ MS/m.

Закключение. При сплавлении в вакуумированных ампулах смесей Se и Nb в широком интервале массовых соотношений компонентов образуются сплавы, представляющие собой твердые растворы γ Se в ниобии, что подтверждается данными химического и рентгенофазового анализа.

Импульсным высоковакуумным напылением сплавов с массовым соотношением Se:Nb 1:4 и 4:1 (Se 20% : Nb 80% и Se 80% : Nb 20%) на предварительно отожженные Pt–Pd-подложки были получены нанопленки 4 и 60 нм соответственно.

Удельная электропроводность нанопленок составила $2,1 \div 2,5$ (для сплава Se:Nb 1:4) и $(3,3 \div 3,7) \times 10^5$ (для сплава Se:Nb 4:1) МСм/м.. Окисление полученных в системе Se–Nb нанопленок кислородом воздуха при 25 °С, исследованное бесконтактным оптическим методом, является топомхимической реакцией, описываемой уравнением Ерофеева-Колмогорова с константами k ($0,07 \div 12,5$) $\times 10^{-2}$ и n $0,26 \div 0,98$ в зависимости от удельной электропроводности пленки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00272 «Исследование сплавов, композиционных и полупроводниковых материалов, сверхтонких проводящих пленок с помощью миниатюрных и сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей».

Литература. 1. Assis T.A. Thin film deposition with time-varying temperature / T.A. Assis // J. Stat. Mech., 2013. – 6 p. **2.** Маликов В.Н. Сверхминиатюрные токовихревые преобразователи для исследования переходов металл–диэлектрик / В.Н. Маликов, А.М. Сагалаков. // Дефектоскопия., 2014. – С. 102-107.

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодёжная 61, Алтайский государственный университет, Маликову В.Н., тел. 8-983-172-5918. E-mail: osys11@gmail.com

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРНОГО ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ПАТТЕРНА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ АВТОНОМНЫМИ РОБОТАМИ

А.В. ЕРМАКОВ, Л.И. СУЧКОВА

С каждым годом наблюдается увеличение областей применения робототехнических систем, работающих автономно. Роботы применяются в быту, промышленности, при ведении военных действий, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. При этом одиночный автономный робот может использоваться либо для решения простых задач, либо только небольшой части сложной задачи. Применение нескольких роботов или их коллектива для решения сложных задач является очевидным решением вышеприведённых проблем. За счёт рассредоточения роботов по рабочей зоне достигается больший радиус действия. За счёт возможности перераспределения целей между роботами увеличивается вероятность выполнения задания.

На сегодняшний день в области коллективного поведения роботов выделяют следующие подходы к их исследованию [1]:

- 1) конечноавтоматные системы;
- 2) многоагентные системы;
- 3) методы имитационного моделирования коллективного взаимодействия;
- 4) роевые, пчелиные и муравьиные алгоритмы;
- 5) эволюционные методы.

Все эти подходы подразумевают формализацию описания взаимодействия автономных роботов при работе в коллективе на основе существующих моделей обмена данными и принятия решений, характерными для предметной области, в которой функционирует автономный робот. На этапе проектирования системы принятия решений робота представляет интерес лингвистическое задание правил поведения робота в коллективе. Такой способ формализации поведения позволит эксперту формулировать правила поведения роботов коллектива и исследовать на имеющемся наборе правил функционирование как отдельных роботов, так и коллектива в целом.

Целью работы является формализация паттернов поведения интеллектуальных автономных роботов, работающих в коллективе.

В качестве входных параметров паттерна поведения была выбрана группа векторов вида $[B_{\text{sensors}}, B_{\text{task}}, B_{\text{act}}]$, где B_{sensors} – вектор данных от

внешних датчиков робота, V_{task} – вектор данных о внутреннем состоянии робота, V_{act} – вектор доступных действий.

Выходным параметром является вектор $[A_{select} \ W]$, где A_{select} – указатель на действие, которое должно быть выполнено в соответствии с паттерном, W – вес намерения выполнить предложенное действие. Вес выражается числом с плавающей запятой из диапазона $[-1;1]$. Положительное значение выражает намерение выполнить действие, отрицательное – не выполнять его. Так «-1» означает категоричный запрет на выполнение действия.

Паттерн представляет собой текст на разработанном сценарном языке задания действий.

Агенты с простым поведением работают по схеме «условие-действие»:

IF (условие) THEN действие

Сценарный язык описания паттернов поведения создавался с учётом простоты синтаксиса и предположения, что паттерны для автономных роботов будут создавать люди, имеющие начальные навыки алгоритмизации. В созданном языке описания паттернов поддерживается проверка условий и ветвление с несколькими условиями (конструкции вида «if-elseif-else») и циклы с предусловием (конструкция вида «while»). В выражениях доступны арифметические операции над числами: сложение «+», вычитание «-», умножение «*», деление «/», целочисленное деление «//», остаток от деления «%» и возведение в степень «**». Также реализованы операции сравнения: меньше «<», больше «>», равно «==», не равно «!=», меньше или равно «<=» и больше или равно «>=». Для работы с булевыми переменными реализован минимальный набор логических операций: И, ИЛИ, НЕ (ключевые слова «and», «or», «not» соответственно).

В тексте паттерна для описания часто используемых последовательностей действий робота возможно их объединение в группы путем создания локальных функций с аргументами и без (ключевое слово «function»).

В тексте паттерна допускается обращение к глобальной переменной `bot`, обеспечивающей функции единственного интерфейса ввода-вывода, доступного для паттерна.

Полный список доступных методов у интерфейса ввода-вывода:

- `bot.math.<id>(<args>)` – библиотека математических функций, где `id` – имя функции, `args` – аргументы функции;

- `bot.sensors.<id>` – входной вектор $V_{sensors}$ с данными от датчиков, где `id` – идентификатор датчика;

- `bot.task.<id>` – входной вектор V_{task} внутреннего состояния робота, где `id` – идентификатор параметра;

- `bot.act.<id>(<weight>)` – интерфейс вывода, где `id` – идентификатор действия, `weight` – «вес» намерения выполнить действие.

Пример создания собственной локальной функции с именем `get_distance`, имеющей два аргумента, и которая возвращает расстояние между двумя точками:

```
function get_distance(x, y) {
    return bot.math.sqrt((bot.task.coord_x-x)**2 + (bot.task.coord_y-y)**2)
}
```

Так в вышеприведённом примере функция использует библиотечную функцию извлечения квадратного корня `math.sqrt` и обращается к значениям входного вектора паттерна B_{sensors} по уникальным идентификаторам `coord_x` и `coord_y`.

После описания грамматики паттерна поведения был создан лексический анализатор языка. Исходный текст паттерна разбивается на токены и транслируется в исходный код языка программирования python2. Промежуточный код паттерна компилируется в байт-код интерпретатора python.

Таким образом, созданный язык паттернов компилируется, что должно дать выигрыш в производительности, поскольку низкая производительность выполнения паттернов поведения может стать проблемой при большом числе (от тысячи и более) одновременно выполняемых паттернов и ограниченной вычислительной мощности бортового компьютера робота [2].

Для исследования процесса принятия решения на базе паттернов поведения было разработано программное обеспечение, моделирующее процесс перемещения автономного робота в лабиринте.

Как и в работе [3], симулятор состоит из подсистем, синхронизированных между собой по времени: подсистемы датчиков, подсистемы управления перемещением робота в пространстве и подсистемы алгоритмов поведения.

На рис. 1 приведена схема взаимодействия автономного робота с окружением.

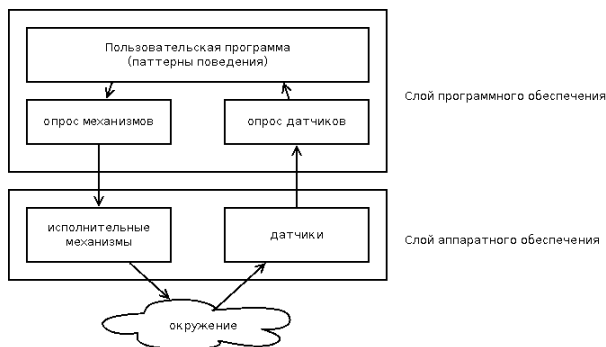


Рисунок 1 – Типичная архитектура автономного робота [3]

Моделируемый робот имеет четыре датчика расстояния до препятствия с идентификаторами `wall_left`, `wall_right`, `wall_up` и `wall_down` и датчик, возвращающий текущие координаты. В векторе внутреннего состояния хранятся координаты цели `coord_x` и `coord_y`.

Для принятия решений скомпилированные паттерны запускаются по очереди, веса одинаковых действий, предложенные разными паттернами (или даже одним и тем же), суммируются. В итоге для принятия решения выбирается действие, имеющее больший вес.

Паттерны разных роботов на одних и тех же входных данных могут выдавать разный результат и даже противоречить друг другу.

Для проверки созданной системы принятия решений были написаны два простых паттерна: первый запрещал двигаться в сторону стен, второй задает движение в сторону заданной цели, на каждом шаге минимизируя расстояние.

Текст паттерна, запрещающий двигаться в сторону стен:

```
min_distance = 5
if bot.sensors.wall_left <= min_distance {
    bot.act.go_left(-1)
}
if bot.sensors.wall_right <= min_distance {
    bot.act.go_right(-1)
}
if bot.sensors.wall_up <= min_distance {
    bot.act.go_up(-1)
}
if bot.sensors.wall_down <= min_distance {
    bot.act.go_down(-1)
}
```

В теле паттерна создаётся локальная переменная `min_distance` и происходит сравнение текущего расстояния до препятствий. В паттерне описывается, что в случае, если робот приблизится слишком близко к препятствию, то дальше приближаться он не должен.

Перед роботом поставили задачу добраться до цели. На рис. 2 показана траектория движения робота, поведение которого описывается всего двумя паттернами поведения. Робот сокращает расстояние до заданной цели, обладая только информацией о координатах цели и собственных.

После того, как он приблизился к препятствию 3 достаточно близко, сумма весов намерений изменилась, и система принятия решений выдала результат двигаться вниз, а не вправо.



Рисунок 2 – Визуализация передвижения робота:

1 – первоначальное положение робота на карте; 2 – траектория движения робота; 3 – препятствие; 4 – цель

Однако следующий шаг вернул робота в предыдущее положение – робот попал в локальный минимум и с текущими паттернами поведения оказался не способен обойти препятствие.

В качестве способа выхода из локального минимума был выбран метод набора опыта путем запоминания посещённых областей на карте. Опыт можно передавать другим роботам внутри коллектива, тогда они, уже обладая более полной информацией, будут способны принимать более эффективные решения.

После добавления в программу поведения робота сохранения информации об опыте и изменения системы принятия решений с учетом данных опытов, в результате исследования установлено, что теперь при попадании в локальный минимум робот будет стремиться из него выйти, приняв действие двигаться в сторону, где он ещё не был (рис. 3).

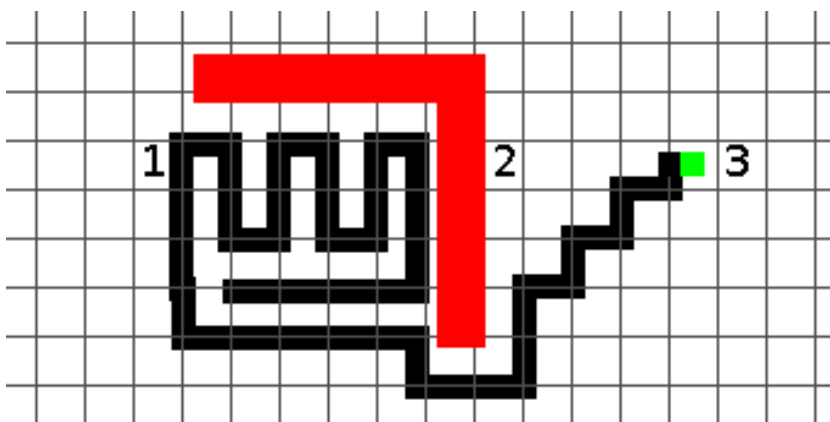


Рисунок 3 – Визуализация передвижения робота с набором опыта:

1 – траектория движения робота; 2 – препятствие; 3 – цель

Информация о посещённых областях хранится в виде неориентированного графа. В каждом узле хранятся координаты области с округлением до шага сетки и значение целевой функции задачи. На рис. 4 изображен граф после прохождения роботом лабиринта на рис. 3.

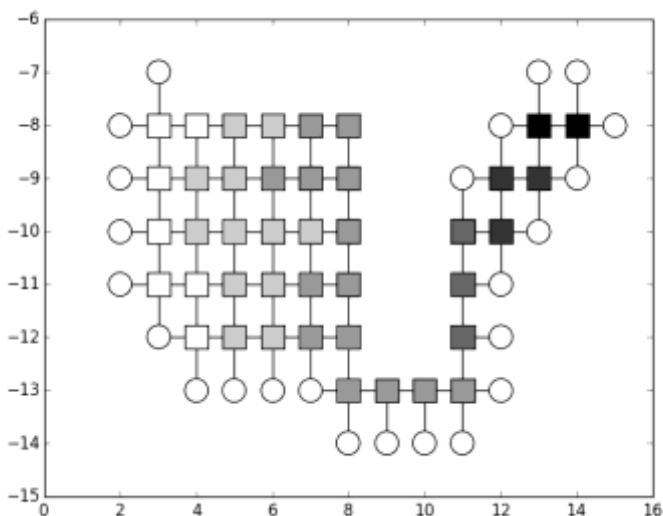


Рисунок 4 – Визуализация графа опыта:

Пустые круги – непосещенные области, квадраты – посещённые. Чем темнее цвет квадрата, тем меньше расстояние до цели

Таким образом, был формализован паттерн поведения, проведены испытания алгоритмов и намечены цели для дальнейшего развития системы принятия решений.

Литература. 1. Карпов В.Э. Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное //Современная мехатроника. Сб. научн.трудов Всероссийской научной школы (г.Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011) – Орехово-Зуево, 2011. – 132 с. – с. 35-51. 2. Harold Abelson and Gerald Sussman. Structure and Interpretation of Computer Programs // 2nd edition, MIT Press, 1996. 3. Kimoto, K. & Yuta, S. Autonomous Mobile Robot Simulator – A Programming Tool for Sensor-Based Behavior // Autonomous Robots June 1995, Volume 1, Issue 2, pp 131–148.

Реквизиты для справок: 656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46 Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Ермакову А.В., тел.8 (3852) 29-07-86. E-mail: tour0@ya.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СТРАТЕГИЧЕСКИХ ИГРАХ

М.В. ЕФИМЕНКО, А.Н. ТУШЕВ

В 1978 году американский шахматный мастер Леви выиграл пари, которое он заключил 10 лет назад. Оно заключалось в том, что в течение 10 лет компьютер не сможет его обыграть. Несмотря на то, что Леви выиграл, он заявил, что следующего пари не будет. Счет был почти равным, и, по мнению экспертов, компьютер вплотную приблизился к уровню мастера.

Рядовым любителям шахмат доступ к суперкомпьютерам был недоступен, а до персональных компьютеров было еще 5 лет. Тогда массово появились устройства величиной с современный смартфон, в который была вшита шахматная программа. Сила игры этого устройства была примерно 1-2 разряд любителя в СССР, но такой уровень был у подавляющего большинства любителей шахмат на Западе, поэтому спрос был большой. В 2016 году программа «AlphaGo» обыграла сильнейшего игрока Го со счетом 4:1, она использовала суперкомпьютер для вычислений. Программы игры Го, доступные для персональных компьютеров, играют неудовлетворительно. Например, программу «Many faces of Go», над которой автор работал более 20 лет, способен обыграть любитель после года тренировок.

Сейчас сыграть в Го можно легко через Интернет с равным по силе партнером. Однако для улучшения навыков игры возникает необходимость иметь виртуального противника, который играет на хорошем уровне. Аналогично, программа, которая неплохо играет в популярные экономические игры, можно использовать для обучения персонала компаний, в университетах для курсов экономических наук и т.д. Программы военных игр можно использовать как тренажеры по тактике, для изучения военной истории и т.д. Также одной из сфер применения таких программ является развлечение.

Для победы в подобных играх необходимо просчитывать огромное количество различных вариантов ходов и их дальнейшего развития. Для перебора всех вариантов и выбора самого лучшего даже у самых мощных компьютеров может уйти десятки лет. Однако применение глубоких нейронных сетей позволит компьютерам играть на уровне человека и даже побеждать его. Для обучения таких нейронных сетей используется алгоритм глубокого обучения [1].

Целью работы является обучение нейронной сети с помощью алгоритма глубокого обучения для успешного решения задач в стратегических играх. Программа должна играть на уровне человека, играющего в данную игру продолжительное время.

Для реализации искусственного интеллекта в играх на данный момент используются алгоритмы ограниченного перебора: минимакс, алгоритм альфа-бета отсечения, поиск по дереву, которое моделируется методом Монте-Карло. Чтобы компьютер просчитывал победную стратегию, необходимо уменьшать уровень ограничений, а это приводит к увеличению использования вычислительной мощности и времени поиска хода. С помощью глубинных нейронных сетей компьютер может решать задачи, которые имеют огромное количество вариантов решений и требуют быстрого ответа [2].

В качестве площадки для проверки работы алгоритма использована военная стратегическая игра «Адмирал». Она моделирует морские баталии эпохи Паруса. Размер игрового поля 24x14 клетки, что делает прямой перебор с альфа-бета отсечениями невозможным. Игра рассчитана на 2 игроков и состоит из раундов и ходов. Каждый игрок имеет в распоряжении по 6 кораблей 3 разных типов. В игре побеждает тот игрок, который уничтожит все корабли противника.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи: разработка архитектуры нейронной сети, подготовка обучающей выборки. Программное обеспечение для анализа работы алгоритма глубинного обучения разработано в среде VisualStudio 2015 на языке C#.

Для внедрения нейронной сети в различные стратегические игры была разработана универсальная структура классов, которая представлена на рис. 1.

Интерфейс игры представлен на рис. 2.

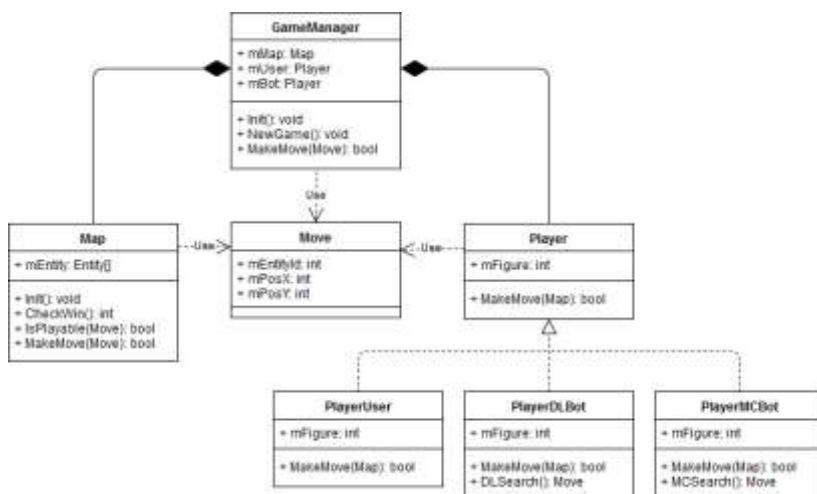


Рисунок 1 – Архитектура классов

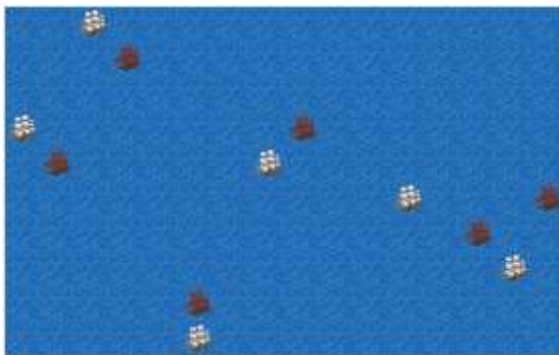


Рисунок 2 – Интерфейс игры

В разработанном проекте использована глубокая нейронная сеть для реализации искусственного интеллекта, который управляет соперником[3]. Архитектура нейронной сети представлена на рис. 3.

Входные параметры нейронной сети поделены на 3 группы.

Первая группа – это глобальные признаки. В качестве глобальных признаков выступают различные состояния игры, номер хода, очки игроков, их ресурсы.

Вторая группа – это состояния элементов игры. Она содержит позиции игровых объектов, их состояния.

Третья группа – это возможные действия. В этой группе находятся возможные действия каждого элемента игры.

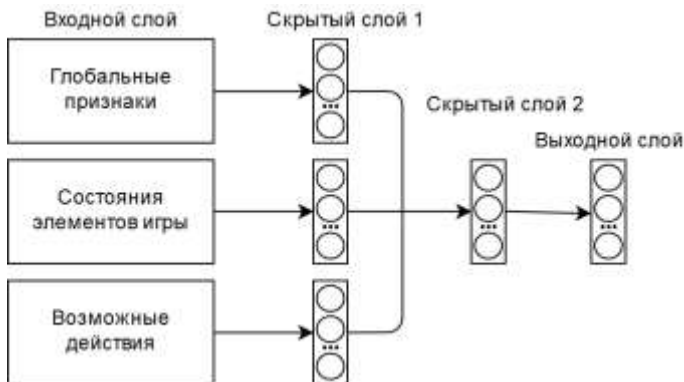


Рисунок 3 – Архитектура нейронной сети

Обучение нейронной сети происходит следующим образом. Компьютер играет с самим собой большое количество партий. Вначале он делает случайные ходы. Со временем нейронная сеть обучается и исключает ходы, которые могут привести к поражению.

По результатам эксперимента компьютер выигрывал у человека в 70% партий. Полученный результат сравнивался с играми, проведенными с использованием метода минимакса, у которого было ограничение на глубину поиска равное 10. С ним компьютер выигрывал лишь 49% партий.

Таким образом, на основе полученных экспериментальных результатах можно заключить, что использование глубоких нейронных сетей и глубинного обучения в стратегических играх позволяет создать соперника, который играет на хорошем уровне, используя возможности персонального компьютера.

Литература. 1. Татьянакин, В. М. Алгоритм формирования оптимальной архитектуры многослойной нейронной сети / В. М. Татьянакин // II Международная научно-практическая конференция: «Новое слово в науке: перспективы развития». –2014. – С. 187–188. 2. Васенков, Д. В. Методы обучения искусственных нейронных сетей / Д. В. Васенков // Информатизация образования, 2007. – С. 20-29. 3. Козадаев, А. С. Принципы реализаций искусственной нейронной сети [Текст] / А. С. Козадаев // Вестник Тамбовского университета. –2010. – № 1. – Т. 15. – С. 108-110.

Реквизиты для справок: *Россия, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина46, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова», кафедра ИВТиИБ, Тушев А.Н., к.т.н., доцент, E-mail: tushev51@mail.ru, тел. (3852) 29-07-18.*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ГОСТИНИЧНОМ БИЗНЕСЕ

А.С. АВДЕЕВ, Д.Д. БАРЫШЕВ, Н.С. КЛЕПИКОВА, SHUANG GAO

В настоящее время во многих сферах деятельности человека возникает необходимость принятия решений, полагаясь на существующий набор альтернатив. Принимая во внимание поток рассматриваемых данных для подготовки альтернатив с их делением по выделенным категориям, вырастает актуальность использования автоматизированной информационной системы для решения данных задач. Информационная система поддержки принятия управленческих решений (далее СППР) представляет собой очень важного помощника для руководителя предприятия [2]. Создание и применение СППР позволит получить доступное средство для оперативного анализа, управления и планирования на предприятии, а также обеспечит отель конкурентным преимуществом.

Цель данной работы заключается в проектировании и реализации архитектуры современной СППР в гостиничном бизнесе, разработке и реализации гибридной нейронечеткой архитектуры для вывода правил принятия решений.

С целью построения модели оценки и обучения нейронечетких сетей была сформирована обучающая выборка, содержащая сведения о дея-

тельности отеля, на базе которого разрабатывается СППР. Фрагмент выборки представлен в таблице 1. Удовлетворенность клиентов качеством услуг отеля оценивали сами клиенты в предложенной им анкете по выселению из гостиницы, в которой указывали оценку по шкале от 2 до 5 (2 – плохо, 5 – отлично).

Таблица 1 – Фрагмент выборки с данными клиентов об удовлетворенности услугами отеля

Скидки	Питание	Номер	Персонал	Внутр. сервисы	Внеш. сервисы	Инфраструктура
3	5	3	5	3	5	5
4	4	4	5	4	3	4
4	4	4	5	5	3	5
3	4	5	4	5	4	5
4	5	5	5	4	5	5

Далее представлены управляемые параметры (их сервисы) и показатели работы гостиницы:

- система скидок;
- персонал гостиницы;
- номера, питание;
- внутренние сервисы¹;
- внешние сервисы;
- инфраструктура гостиницы.

Необходимо учитывать, что оценка некоторых сервисов, т.е. управляемых параметров носит субъективный характер (оценка качества питания).

Каждый управляемый параметр характеризуется следующими составляющими параметрами (подсервисами).

Таблица 2 – Фрагмент соответствия управляемых параметров и подсервисов

Управляемые параметры		
	Сервис	Подсервис
Персонал	Менеджеры	Вежливость
		Компетентность
	Горничные	Качество уборки
		Скорость уборки
	Официанты	Скорость обслуживания
		Общение с клиентами
	Повара	Скорость приготовления блюд
		Качество блюд

¹ Сервисы часто также называют дополнительными услугами

Показатели работы разработанной системы учитывают следующие показатели работы гостиницы:

- Загрузка номерного фонда (ЗНФ)
- Средняя цена за гостиничный номер (СЦГН)
- Чистая прибыль (ЧП)
- Среднее число гостей на один проданный номер (СГПН)
- Доход на гостя (ДГ)
- Налоговая нагрузка (НН)
- Чистый оборотный капитал (ЧОК)
- И др.

В данном случае гостиница представляет собой объект управления с большим количеством входных и управляемых параметров и девятнадцатью выходными параметрами.

Для нечеткого вывода был использован следующий алгоритм поиска правил. Рассмотрим n показателей работы автоматизированной информационной системы $\{ПР_1; ПР_2; ПР_3; \dots; ПР_n\}$ и m управляемых параметров $\{УП_1; УП_2; УП_3; \dots; УП_m\}$. Принято считать, что количество управляемых параметров меньше, чем количество показателей ($m < n$), учитывая, что изначально отсутствует информация о том, что i -ый управляемый параметр является управляемым параметром.

В нашем распоряжении имеется история по показателям и управляемым параметрам за нужное время. Далее была построена матрица, названия колонок которой – это наблюдаемые показатели работы, а столбцов – это управляющие параметры. Значения ячеек – это силы влияния i -го управляющего параметра на j -ый показатель работы.

Таблица 3 – Фрагмент таблицы сил влияния управляющих параметров на показатели работы

		Персонал	Номер	Питание	Скидки	Внут. сервисы	Внеш. сервисы	Инфраструктура
1	ЗНФ	0,6	0,72	0,2	0,4	0,1	0	0,69
2	ЧП	0,58	0,64	0,1	0,12	0,6	0,07	0,58
3	НН	0,16	0,21	0,87	0,51	0,92	0,81	0,36

Приведем несколько найденных шаблонов правил управления:

Шаблон управляющих правил 1:

$$ЗНФ \ \& \ СЦГН \ \& \ ЧП \Rightarrow \ СЦГН \quad (1)$$

Шаблон управляющих правил 2:

$$ЗНФ \ \& \ ЧП \Rightarrow \ \text{Содержание_номера} \quad (2)$$

Найденные правила были реализованы с помощью сети ANFIS, входящей в состав программного комплекса MATLAB. При обучении сети использовался метод обратного распространения ошибки. Данные, полученные при реализации правил представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Фрагмент данных обучения нечеткой нейронной сети

№ п/п	Шаблон правила	Входы/Выходы	Ошибка обучения	Итераций обучения	Ошибка обобщения
1	<i>ЗНФ & СЦГН & ЧП => СЦГН</i>	3/1	0.11	40	0.06
2	<i>ЗНФ & ЧП => Содержание номера</i>	2/1	0.60	120	0.44

Далее показана работоспособность сети на примере правила №2:
ЗНФ & ЧП => Содержание номера

Оформленная система нечеткого вывода отображена в виде графического редактора FIS:

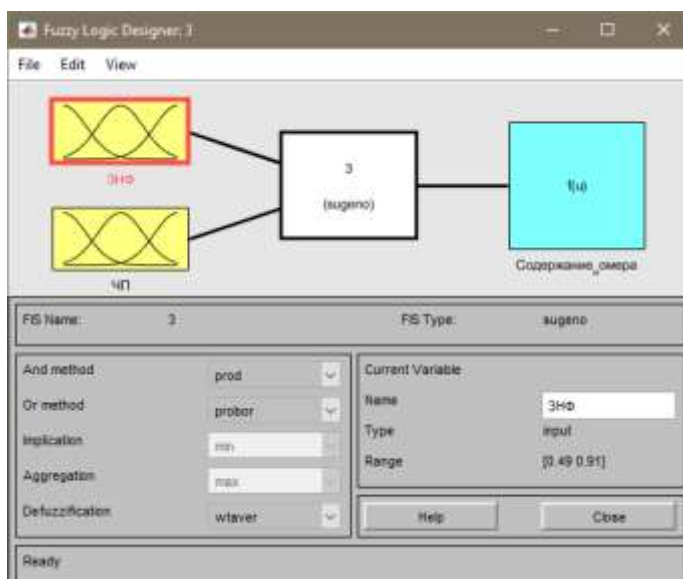


Рисунок 1 – Сгенерированная система нечеткого вывода

В данном редакторе указан тип модели нечеткого вывода – Sugeno, а так же все входные и выходные переменные правила. Также система позволяет сформировать структуру нейронечеткой сети:

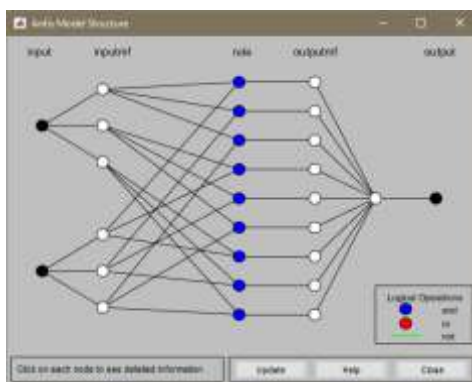


Рисунок 2 – Структура нейронечеткой сети

На структуре видно, что для сети используются 2 входа, каждый из которых формирует по 3 терма, которые указываются в правилах нечеткого вывода.

Далее строятся функции принадлежности на основе обучения нейронной сети, выбранная функция для отображения правила имеет тип «Pimf», после чего можно посмотреть правила для системы нечеткого вывода:

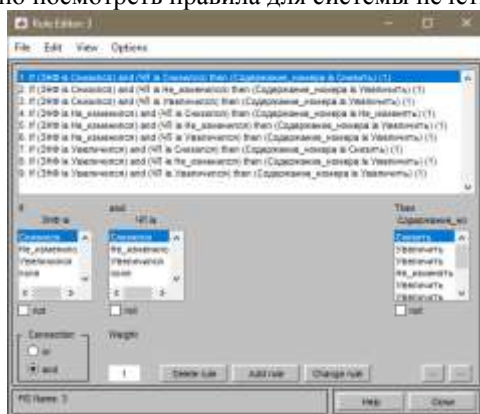


Рисунок 3 – Фрагмент базы нечетких правил

В базе нечетких правил видно, какие термы используются для нечеткого вывода, а также вес правила, в данном случае – 1.

Выполним проверку адекватности построенной нечеткой модели гибридной сети. Для решения этой задачи необходимо воспользоваться функцией evalfis:

```
>> Pravilo = readfis('2');
>> output = evalfis([0.54 1], Pravilo)
output = -0.6416
```

В выборке значение за тот же день составляет – 0.67, то есть мы видим, что сеть вполне адекватна для своих данных.

Также был оценен алгоритм обратного распространения ошибки в правилах. Фрагмент оценки представлен в таблице 6.

Исходя из проведенных опытов и оценки работоспособности сети, можно сказать, что модель СППР на основе нейронечеткой сети ANFIS отвечает требованиям управления отелем.

В перспективе будут проведены работы по настройке других шаблонов правил управления для большего использования альтернатив.

Таблица 6. Показатели качества применения управляющих параметров

	Правило 1	Правило 2	Правило 3
Точность прогнозирования (в процентах)	89	80	74
Количество инцидентов	28	31	23
Количество положительных применений	24	25	16
Количество отрицательных применений	4	6	7

Литература. 1. Аристов С.А. Методология разработки и применения многофункциональных систем поддержки принятия решений на предприятиях агропромышленного комплекса. Автореферат дисс. на соис. уч. степени д.э.н. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева. 2008.44 с. **2.** Ключко В.И., Карнизян Р.О. Моделирование работы гостиницы // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ <http://ej.kubagro.ru> №7, 2013. URL: <http://ej.kubagro.ru/archive.asp?n=91> **3.** Бурякова Е. С. Разработка и принятие управленческих решений, постановка задач, делегирование полномочий. - М.: Издательство: MBS, 2010.-563 с.

Реквизиты для справок: Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина 46, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», кандидату технических наук, доценту Авдееву А.С., тел. 8 (3852) 29-09-18, 8 (3852) 29-08-70. E-mail: ishimael@bk.ru

СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ БАМПЕРОВ

В.Н. ХМЕЛЁВ, А.Н. СЛИВИН, А.Д. АБРАМОВ, В.А. НЕСТЕРОВ,
Д.В. ГЕННЕ

При изготовлении разнообразных изделий из полимерных термопластичных материалов часто используется соединение нескольких деталей (элементов) изделия друг с другом. При этом, образование соединения

осуществляется с помощью УЗ сварки [1], позволяющей получить качественный сварной шов без применения клеев с высокой скоростью (от 0,3 до 5 секунд в зависимости от свойств материалов, толщины, размеров формируемого сварного шва). Выделение энергии ультразвуковых колебаний происходит локально в зоне контакта свариваемых изделий. При этом нагрева сварочного инструмента до высоких температур плавления материалов не происходит [2]. Все эти факторы способствуют равномерному переходу материала в текучее состояние и формированию качественного заклепочного соединения с эстетическим внешним видом.

В настоящее время в автомобильной отрасли промышленности используется большое количество разнообразных изделий из термопластичных материалов. Среди изделий имеются такие, при изготовлении которых необходимо формировать сварные швы высокого качества с использованием ручного сварочного инструмента [3]. При этом, обеспечение сварных швов высокого качества определяет надёжность и высокие эксплуатационные характеристики конечного изделия [4].

К таким изделиям относится бампер для автомобильного транспорта, при производстве которого должно быть произведено формирование большого числа сварных швов (до 22), специальной конфигурации. Основной проблемой, при этом является труднодоступность расположения сварных швов и сложность их получения при помощи ручного сварочного инструмента. Это связано с необходимостью обеспечения позиционирования и прижима сварочным инструментом к свариваемым материалам с боковой внутренней стороны бампера. Поскольку серийно изготавливаемых ультразвуковых аппаратов для реализации такой сварки нет, возникает необходимость в разработке и изготовлении специализированного оборудования [5-7] и системы позиционирования для ручной сварки изделий.

При создании, изготовлении и применении специализированного оборудования для сварки необходимо:

- предложить, разработать и реализовать ультразвуковой аппарат с колебательной системой и ручным сварочным инструментом для формирования швов специальной формы, имеющей развитую увеличенную площадь поверхности;
- разработать систему, которая бы позволила осуществить позиционирование и ограничить заглубление ручного сварочного инструмента при сварке большого числа сварных швов в необходимых местах изделия;
- отработать технологию, выбрав оптимальные режимы и условия сварки изделий, исследовать функциональные возможности аппарата и сформулировать рекомендации по его эффективному применению на производстве.

При решении первой из поставленных задач был разработан и практически реализован ультразвуковой аппарат с ручным сварочным инструментом (рис. 1).

Конфигурация рабочей поверхности сварочного инструмента выполнена таким образом, что позволяет увеличить площадь сформированного сварного шва.



Рисунок 1 – Ультразвуковой аппарат с ручным сварочным инструментом

На рис. 2 представлен ручной сварочный инструмент ультразвукового аппарата. Это позволяет повысить прочность и качество сварных швов и как следствие надёжность и высокие эксплуатационные характеристики конечного изделия [8,9].

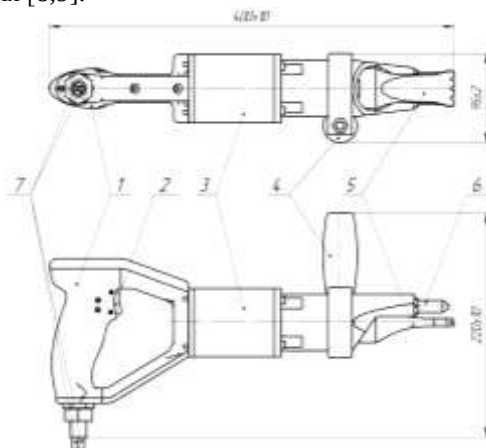


Рисунок 2 – Сварочный инструмент:

- 1 – рукоятка задняя; 2 – кнопка; 3 – пьезоэлектрический преобразователь в корпусе; 4 – рукоятка передняя; 5 – рабочий инструмент; 6 – направляющие;
- 7 – кабель питания / кабель пневмосети

Система управления ультразвукового аппарата обеспечивает высокоскоростное регулирование по напряжению, и стабилизацию амплитуды колебаний сварочного инструмента в процессе сварки с помощью чопперного регулятора напряжения. Система управления

позволяет обеспечить точное выделение ультразвуковой энергии в зоне сварки и формирование качественного сварного шва [10]. В таблице 1 представлены технические характеристики ультразвукового сварочного аппарата.

Ультразвуковая колебательная система имеет специальные ограничители-направляющие, которые позволяют обеспечить точное ручное позиционирование сварочного инструмента. Это обеспечивается за счёт применения новой системы позиционирования.

Таблица 1 – Технические характеристики аппарата

Параметр	Тип сигнала
Мощность	1000 ВА
Питание от сети	220 В
Амплитуда колебаний рабочего инструмента	50-80 мкм
Время непрерывной работы	8 ч
Колебательная система	400х95х220 мм
Толщина свариваемых листовых материалов	1 – 7 мм
Время сварки одного сварного шва	2-5 сек
Частота	22 кГц
Размер формируемого сварного соединения	35х8 мм

При решении второй из поставленных задач была разработана и практически реализована система управления позиционированием сварочного инструмента, представленная на рис. 3, которая обеспечивала срабатывание пневмоцилиндров. Функционирование системы управления осуществлялось по алгоритму, представленному на рис. 4.

Новая система позиционирования (рис. 5) позволяет обеспечить фиксацию свариваемых изделий при помощи пневмоцилиндров, и исключить их смещение в процессе сварки.

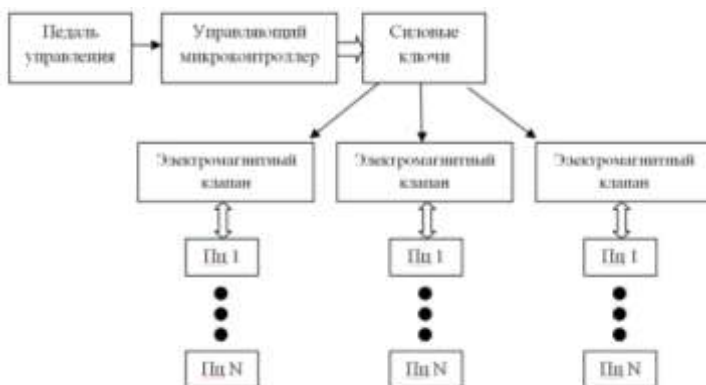


Рисунок 3 – Система управления позиционированием

Система позиционирования позволяет установить сварочный инструмент в определённые места изделий и ограничить заглупление сварочного инструмента в процессе сварки на определенном расстоянии, при расплавлении материалов.

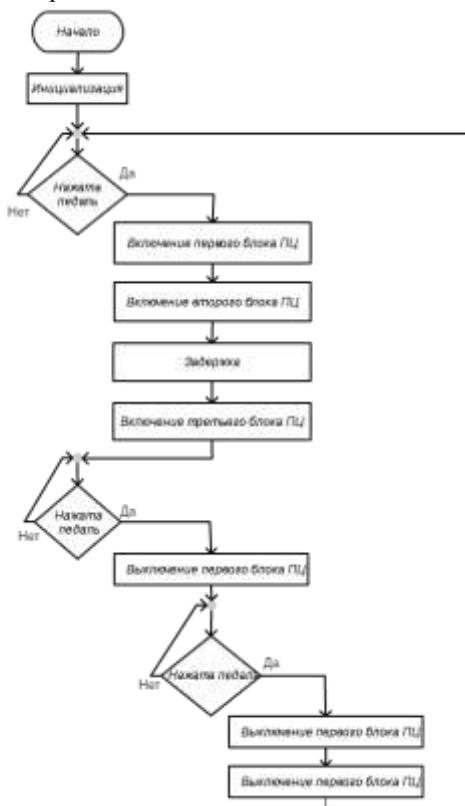


Рисунок 4 – Алгоритм работы системы позиционирования

Это позволяет получить сварные швы в нужных местах изделия и исключить сквозное проплавление изделий и образование несформированного сварного шва (рис. 6). Разработанная система позволила обеспечить сжатие и исключить сдвиг свариваемых поверхностей бампера под воздействием ультразвуковых колебаний, при формировании швов, осуществить позиционирование и ограничить заглупление ручного сварочного инструмента в процессе сварки [11]. В результате выполнения работы предложен, изготовлен и исследован ультразвуковой аппарат для сварки автомобильных бамперов. В основу

аппарата положен ручной сварочный инструмент с пьезоэлектрической колебательной системой. Рабочая поверхность сварочного инструмента имеет увеличенную площадь рабочей поверхности, позволяющую обеспечить формирование сварного шва специальной формы.

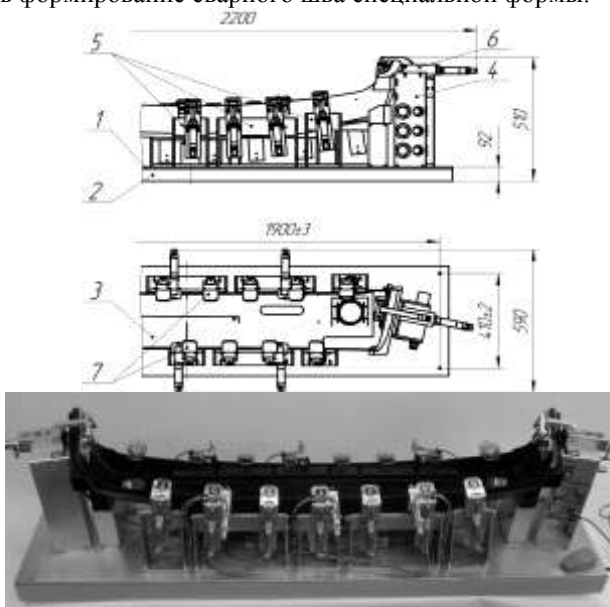


Рисунок 5 – Система позиционирования сварочного инструмента:
1 – станина; 2 – каркас; 3 – бампер; 4 – поддержка бампера боковая (кронштейн сварочных опор); 5 – регулируемые сварочные позиции;
6 – опора сварки бокового кронштейна; 7 – направляющая сварочного инструмента

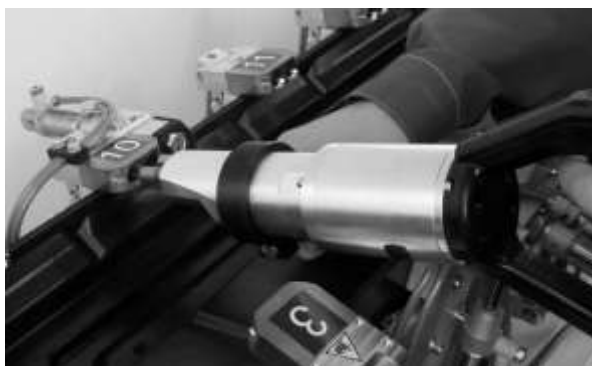


Рисунок 6 – Процесс формирования сварного шва

Разработанный аппарат при максимальной потребляемой электрической мощности в 1000 Вт и амплитуде ультразвукового воздействия в процессе сварки в пределах 50-80 мкм обеспечивает формирование качественного соединения за 4-5 с.

Разработана система позиционирования сварочного инструмента. Новая система позиционирования позволяет обеспечить фиксацию свариваемых изделий при помощи пневмоцилиндров, обеспечить сварку в труднодоступных местах изделия, ограничить заглупление ручным сварочным инструментом в процессе сварки на определенном расстоянии, при расплавлении материалов.

Проведенные исследования и испытания созданного аппарата и системы позиционирования позволили подтвердить эффективность применения в промышленных условиях и выработать рекомендации по ультразвуковой сварке автомобильных бамперов.

Литература 1. Хмелёв В.Н. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: монография / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, С.С. Хмелёв / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. 281 с. **2.** Khmelev V. N. Model of process and calculation of energy for a heat generation of a welded joint at ultrasonic welding polymeric thermoplastic materials / V. N. Khmelev, A. N. Slivin, A. D. Abramov, 2007 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM'07 - Proceedings 2007 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM'07. Russian Foundation of Basic Researches (RFBR), 2007, pp. 316–322 **3.** Khmelev V.N. Development of ultrasonic welding technology by hand tool / Khmelev V.N., Slivin A.N., Abramov A.D., Vakar M.E. // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM -2016) Conference Proceedings. 2016. С. 280-284. **4.** Способ герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки компонентов крови / Пат. 2269334 Российская Федерация, МПК7 А61J1/05, В65B51/22. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» – №ГОСТ 2004115358/14; заявл. 20.05.04; опубл. 10.02.06, Бюл. № 4. – 3 с.: ил. **5.** Хмелёв, В.Н. Разработка ультразвукового оборудования для упаковочных машин / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов, И.И. Савин, С.В. Левин. – Известия Тульского государственного университета. Серия: «Технологическая системотехника». – Тула, 2006. – Вып. 6. – С. 12–18. **6.** Хмелёв В.Н. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой сварки элементов картриджа для очистки воды / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, С.В. Левин. – Известия Тульского государственного университета. Серия: «Технологическая системотехника». Тула, 2004. № 2. С. 175-182. **7.** Хмелёв В.Н.

Разработка полуавтоматической линии для приваривания полимерной пленки с одновременной вырубкой с помощью ультразвука / В.Н. Хмелев, А.Н.Сливин, А.Д. Абрамов, Д.В.Генне, В.А.Нестеров // Южно-Сибирский научный вестник. 2017. № 1 (17). С. 20-25. **8.** Хмелёв В.Н. Повышение эффективности энергетического воздействия при ультразвуковой сварке / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 278–281. **9.** Хмелёв В.Н. Совершенствование ультразвуковой сварки и создание аппаратов для её реализации / В.Н. Хмелёв, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 4. С. 152–157. **10.** Khmelev V.N., Stand for controlling of quality of weld producing at ultrasonic welding of thermoplastic materials // V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2017: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2017. – P. 246–249 **11.** Khmelev, V.N. Ultrasonic technology of production of unit-dose pack with guide way of spreads / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov, S.S. Khmelev, D.V. Genne, V.A. Ankudinov : 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices Conference Proceedings. Novosibirsk State Technical University; IEEE Russia Siberia Section. 2015. С. 195-200.

Реквизиты для справок. Россия, 659305, Бийск, ул. Трофимова 27, Бийский технологический институт АлтГТУ, кафедра методов и средств измерений и автоматизации, д.т.н., профессор **Хмелев В.Н.** - vnh@bti.secna.ru, к.т.н.; доцент **Сливин А.Н.** – san@bti.secna.ru; **Абрамов А.Д.** – abramov@bti.secna.ru; к.т.н., доцент **Нестеров В.А.** – nva@bti.secna.ru; инженер **Генне Д.В.** – gdv@bti.secna.ru.

СПИСОК АВТОРОВ

Shuang Gao – Department of Information Management, Dalian Neusoft University

Абраменко Д.С. – к.т.н., доцент, БТИ АлтГТУ

Абрамов А.Д. – инженер, БТИ АлтГТУ

Авдеев А.С. – к.т.н., доцент, АлтГТУ

Андреев И.Д. – студент, БТИ АлтГТУ

Барсуков Р.В. – к.т.н., доцент, БТИ АлтГТУ

Барышев Д.Д. – ст. преподаватель, АлтГТУ

Бессонов А.С. – к.т.н., доцент, МИРЭА

Вавилова Г.В. – к.т.н., доцент ОКД ИШНКБ, НИ ТПУ

Ганжа А.В. – студент, КГМУ

Ганжа В.А. – к.т.н., доцент, СФУ

Генне Д.В. – инженер, БТИ АлтГТУ

Горенков Д.В. – студент, АлтГТУ

Григорьев А.А. – студент, АлтГУ

Гуньков В.А. – студент, АлтГУ

Деменко А.М. – студент, АлтГТУ

Деменко А.М. – студент, АлтГТУ

Дмитриев С.Ф. – к.т.н., доцент, АлтГУ

Дульцев Д.В. – аспирант, АлтГТУ

Евдулов О.В. – к.т.н., доцент кафедры ТиОЭ, ДГТУ

Ермаков А.В. – аспирант, АлтГТУ

Ефименко М.В. – студент, АлтГТУ

Заречнев Р.А. – магистрант, АлтГТУ

Зеленов В.С. – студент, БТИ АлтГТУ

Зорин С.С. – студент, БТИ АлтГТУ

Ильченко Е.В. – инженер, ООО ЦУТ АлтГТУ

Иордан В.И. – к.ф.-м.н., доцент каф. ВТиЭ АлтГУ;

Исаков А.Н. – студент, АлтГТУ

Ишков А.В. – д.т.н., профессор кафедры ТКМиРМ, АГАУ

Кадирова Д.К. – лаборант кафедры ТиОЭ, ДГТУ

Казумов Р.Ш. – к.т.н., доцент кафедры ТиОЭ, ДГТУ

Касьянов А.Н. – магистрант, АлтГТУ,

Качесова Л.Ю. – ст. преподаватель, АлтГТУ

Кибяков И.Е. студент, АлтГТУ

Клепикова Н.С. – магистрант, АлтГТУ

Кобелев Д.И. – аспирант, АлтГУ;

Кононова Е.С. – магистрант, АлтГТУ,

Конюшков К.А. – магистрант, ТПУ
Кривобоков Д.Е. – преподаватель, к.т.н., доцент, АлтГТУ
Лукьянов В.Г. – к.т.н., доцент, АлтГТУ
Мазиков С.В. – аспирант ОКД ИШНКБ, НИ ТПУ
Маликов В.Н. – аспирант, АлтГУ
Мамонтов А.И. – к. т. н., доцент, НИУ «МЭИ»
Моргунов Ю.Ю. – магистрант, АлтГТУ
Муравлёв К.А. – студент, АлтГУ
Мясников М.А. – аспирант, АлтГТУ,
Надвоцкая В.В. – к.п.н., доцент, АлтГТУ
Нестеров В.А. – к.т.н., доцент, БТИ АлтГТУ
Осипов С.П. – в.н.с., к.т.н., ТПУ
Патрушев Е.М. – к.т.н., доцент, АлтГТУ
Патрушева Т.В. – старший преподаватель, АлтГТУ
Первухин Б.С. – д.т.н., профессор, АлтГТУ
Перепелкин Е.А. д.т.н., профессор, АлтГТУ
Пронин С.П. – д.т.н., зав.кафедрой, АлтГТУ
Рогашов А.Е. студент, АлтГТУ
Сатышев А.С. – старший преподаватель, СФУ
Семина Ю.В. – студент, АлтГТУ
Сливин А.Н. – к.т.н., доцент, БТИ АлтГТУ
Сопин В.А. – студент, АлтГТУ
Сучкова Л.И. – д.т.н., профессор, АлтГТУ
Тушев А.Н. – к.т.н., доцент, АлтГТУ
Мирошниченко И.П. – к.т.н., заведующий кафедрой ОКМ, ДГТУ
Фещенко Д.Н. – студент, АлтГТУ
Хворов Д.С. – студент, НИУ «МЭИ»
Хвостова А.М. – студент, АлтГУ
Хмелёв В.Н. – д.т.н., профессор, зам директора по НР БТИ, АлтГТУ,
Цыденов Э.Б. – магистрант, ОКД ИШНКБ НИ ТПУ
Челпанов В.О. – магистрант, АлтГУ;
Чепуштанов А.А. – к.т.н., доцент, АлтГТУ
Шалунов А.В. – д.т.н., зав. кафедрой МСИА, БТИ АлтГУ,
Щетинкин С.А. – ведущий инженер, МТУ (МИРЭА)
Юрченков А.С. – магистрант, АлтГТУ
Юрченкова И.В. – магистрантка, АлтГТУ
Юшкова В.Б. – старший преподаватель кафедры ИТ, АлтГТУ
Якунин А.Г. – д.т.н., зав.кафедрой ИВТиИБ, АлтГТУ

СОДЕРЖАНИЕ

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

Бессонов А.С. Система поддержки модельного проектирования компьютерных измерительных систем	3
Тушев А.Н., Качесова Л.Ю., Юрченков А.С. Оценка технологических рисков системы «человек – электроустановка – среда» с использованием темпоральной логики	7
Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Зорин С.С., Ильченко Е.В., Нестеров В.А., Генне Д.В. Измерительный стенд для исследования процесса ультразвуковой коагуляции высокодисперсных частиц в тонком слое	11
Перепелкин Е.А., Заречнев Р.А. Синтез системы автоматического управления длиной очереди пакетов в буфере маршрутизатора	15
Кононова Е.С., Пронин С.П. Лабораторные исследования зависимости изменения контраста в изображении тест-объекта от массовой концентрации взвешенных частиц	19
Тушев А.Н., Качесова Л.Ю., Юрченкова И.В. Оценка технологических рисков системы «человек – электроустановка-среда» на основе нейронных нечетких сетей	23
Мясников М.А., Пронин С.П. Исследование зависимости средних значений яркости рассеянного света от поверхности замороженной капли, содержащей нанодисперсные частицы	28
Хворов Д.С., Мамонтов А.И. О классификации похожих текстов	32
Тушев А.Н., Деменко А.М., Фещенко Д.Н., Сравнительный анализ и выбор общедоступной базы тестовых изображений для оценки эффективности работы алгоритма безэталонной оценки качества изображений	35
Исаков А.Н., Лукьянов В.Г., Кривобоков Д.Е. Разработка сенсорной панели на датчиках приближения для управления дверными замками.	37
Чепуштанов А.А., Касьянов А.Н. Анализ применения CAD-систем при проектировании слаботочных систем	41
Тушев А.Н., Фещенко Д.Н., Деменко А.М., Анализ необходимого инструментария для разработки программы преобразования человеческой речи в текст	44
Челпанов В.О., Кобелев Д.И., Иордан В.И. Стабилизация пи-	48

тания силовых ключей в прецизионном источнике питания постоянного тока

Цыденов Э.Б., Вавилова Г.В., Мазиков С.В. Оценка влияния температуры на погонную емкость провода 52

Якунин А.Г. Лаборатория ИИС АлтГТУ: история становления, итоги работы и перспективы развития 55

Рогашов А.Е., Пронин С.П. Исследование информационных сигналов в навигационной системе 61

Якунин А.Г. Об оценке параметров информативных сигналов в условиях нестационарности шумов и помех 64

РАЗДЕЛ 2 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Ганжа В.А., Ганжа А.В., Сатышев А.С. Обоснование выбора величины угла при вершине конического индентора пенетрационного прибора – твердомера 70

Семина Ю.В., Надвоцкая В.В., Кибяков И.Е. Анализ методик измерения пластового давления нагнетательных скважин в процессе добычи нефти 73

Первухин Б.С., Юшкова В.Б., Определение параметров контактного первичного преобразователя с различной площадью электродов 77

Евдулов О.В., Кадилова Д.К., Казумов Р.Ш. Термоэлектрический интенсификатор теплопередачи между потоками сред с различной температурой 81

Горенков Д.В., Патрушев Е.М., Патрушева Т.В. Исследование возможности применения генератора хаоса при измерении скорости движения частиц крови 85

Семина Ю.В., Надвоцкая В.В., Кибяков И.Е. Разработка методики измерения пластового давления нагнетательных скважин 89

Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Ильченко Е.В., Генне Д.В., Абраменко Д.С. Анализатор импедансных характеристик ультразвуковых колебательных систем 93

Мирошниченко И.П. Программное обеспечение для обработки результатов измерений интенсивности оптических полей интерференционных картин 98

Первухин Б.С., Сопин В.А. Контроль органических жидкостей по измерению их электрических параметров 102

Моргунов Ю.Ю., Якунин А.Г. Исследование влияния плотности грунта на угловую скорость колес транспортного средства 106

Конюшков К.А., Осипов С.П., Щетинкин С.А. Моделирова- 112

ние систем досмотрового контроля багажа и ручной клади с функцией распознавания материалов

РАЗДЕЛ 3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ

- Дульцев Д.В., Сучкова Л.И.** Алгоритм обнаружения ОЛС-паттернов в потоке данных. 117
- Хмелев В.Н., Нестеров В.А., Шалунов А.В., Сливин А.Н., Зеленов В.С., Андреев И.Д.** Разработка сварочного инструмента для формирования протяженных швов методом прессовой ультразвуковой сварки 122
- Дмитриев С.Ф., Ишков А.В., Григорьев А.А., Муравлёв К.А., Маликов В.Н., Хвостова А.М., Гуньков В.А.** Исследование наноматериалов с использованием сверхминиатюрных вихре-токовых преобразователей 130
- Ермаков А.В., Сучкова Л.И.** Разработка сценарного лингвистического паттерна принятия решений автономными роботами 134
- Ефименко М.В., Тушев А.Н.** Исследование глубинного обучения нейронных сетей в стратегических играх 140
- Авдеев А.С., Барышев Д.Д., Клепикова Н.С., Shuang Gao.** Разработка модели системы поддержки принятия решений для службы управления в гостиничном бизнесе на основе интеллектуальных технологий 143
- Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Абрамов А.Д., Нестеров В.А., Генне Д.В.** Система позиционирования сварочного инструмента для ультразвуковой сварки автомобильных бамперов 148

Contents & Annotations

1. General questions of analysis and design of software and hardware to solve problems of measurement, control and automation

- Bessonov A.S. **The system for support of model-based design of virtual measuring systems.** * The features of model-oriented design in the creation of computer measuring systems are considered. The general structure of the computer model is given. The architecture of the model-based design support system with use the LabVIEW environment is described. The division of specialized components of models into libraries is proposed in accordance with the structure of the general computer model. High efficiency of model-based design is indicated 3-7
- Tushev A.N, Kachesova L.Yu., Yurchenkov A.Yu. **Evaluation of technogenic risks of the system "man - electrical installation - environment" with the use of temporal logic.** * The article proposes a mathematical model for assessing the technogenic risks of the system "Human-Electroinstallation-Environment", taking into account possible temporal dependencies between risk-creating factors. The results of studies using the developed software have shown that the use of temporal dependencies between risk factors generates a more adequate assessment of the technogenic hazard in comparison with the methods for assessing the risks of electrical installations without this component 7-11
- Khmelev V.N., Shalunov A.V., Zorin S.S., Ilchenko E.V., Nesterov V.A., Genne D.V. **Measuring stand for investigation of the process of ultrasonic coagulation of fine particles in a thin layer.** * The article is devoted to the possibility of applying ultrasonic technologies for cleaning gaseous media from highly dispersed particles in a thin layer. The method is considered on the example of creation of a laboratory stand for the study of this process and identification of its main regularities 11-15
- Perepelkin E.A., Zarechnev R.A. **Synthesis of automatic control system of packet queue length in the buffer of a router.** * The problem of synthesis PID controller for a packet queue length control system in the buffer of a data network router is being solved. Pole assignment method is used to synthesis PID controller. The results of computer simulation are presented 15-19
- Kononova E.S, Pronin S.P. **Laboratory researches of dependence of change of contrast in the image of a test object on mass concentration of the weighed particles.** * Calibration of the generator of smoke in experimental installation is executed and a transfer of volume concentration of the weighed particles in mass con- 19-23

centration is made. It is experimentally established that at basic distance of 98 cm from a test object to the video camera it is authentically possible to measure the minimum value of mass concentration of $0,3 \text{ mg/m}^3$. For measurement of mass concentration of $0,1 \text{ mg/m}^3$ by optical contrast it is necessary to increase basic distance much

Tushev A.N, Kachesova L.Yu., Yurchenkova I.V. **Assessment of man-caused electrical hazards of the "human-electrical installation-environment" system based on neural fuzzy networks.** * 23-27

The article describes the method for assessing the man-caused electrical hazards of the "Human-Electroinstallation - Environment" system based on the modified Vanga-Mendel neural-fuzzy network using fuzzy operations and priority I operation, applied to risk-forming factors. This method of assessment provides a more accurate way of calculating the risks of man-made hazards in comparison with existing risk assessment techniques without the use of neural fuzzy networks

Myasnikov M.A., Pronin S.P. **Research of dependence of average values of brightness of diffused light on a surface of the frozen drop containing nanodisperse particles.** * 28-32

Researches of dependence of brightness of diffused light on a surface of the frozen drop containing nanoparticles of monodispersible latex are given in operation. As a result of the pilot studies it is set that a preferred choice of the lighter is use of one LED at distance $\sim 20 \text{ cm}$ from a surface of the frozen drop. Results of researches can be used for monitoring of the sizes of nanoparticles with small concentration

Hvorov D.S., Mamontov A.I. **On the classification of similar texts.** * 32-34

The dependence of the quality of classification and similarity of the classified objects is considered. An example with text data is considered

Tushev A.N., Demenko A.M., Feshchenko D.N., **Comparative analysis and selection of image quality assessment databases to evaluate the effectiveness of the algorithm of no-reference image quality assessment.** * 35-37

This article investigates quality assessment of existing methods of no-reference image quality assessment. The comparative analysis of the existing image quality assessment databases is carried out. From the databases considered, the most suitable ones are selected for the set goals

Isakov A.N., Lukyanov V.G., Krivobokov D.E. **Development of sensor panels on sensors for controlling door locks.** * 37-41

This article describes methods and methods for constructing a sensor-based sensor-based approach choosing appropriate ones taking into ac-

count their advantages and disadvantages

Chepushtanov A.A., Kasyanov A.N. **Analysis and optimization of application database library component in the design of low-voltage systems.** * The analysis of the application of CAD-systems in the design of low-current systems with the use of databases developed for the hardware support of standard design solutions is carried out 41-44

Tushev A.N., Feshchenko D.N., Demenko A.M. **Analysis of the necessary tools to develop a program that converts speech into text.** * This article investigates existing methods of speech recognition. Methods of isolating the features of structural units are considered. The relevance and practical significance of developing an "electronic secretary" program for converting human speech into text is given. From the methods considered, the most suitable ones are selected for the set goals 44-48

Chelpanov V.O., Kobelev D.I., Jordan V.V. **Modernization of power supply module power keys of precision source of DC power supply.*** The article considers the principle of operation and the composition of a precision DC power supply. A method of maximum reduction of voltage pulsations in a circuit of transistor switches is described 48-51

Tsydenov E.B. Vavilova G.V. Mazikov S.V. **Evaluation of temperature influence on the wire capacitance.** * The paper considers temperature conditions of the manufacturing process for cable products. The temperature influence on wire capacitance is noted. it is shown that the change on the wire capacitance is caused by a permittivity change 52-55

Yakunin A.G. **Laboratory of IIS AltSTU: history of formation, results of work and prospects of development.** * The article briefly describes the history of the creation of a laboratory of information-measuring systems of the Altai State Technical University named after IIPolzunov. It was on the basis of this laboratory that in the early 21st century the first scientific and technical conference "Measurement, Control, Informatization" was held. The main directions of research conducted in the laboratory in different years and the results achieved on them are described, as well as the directions that the laboratory is currently engaged in and will continue to do in the coming years 55-61

Rogashov A.E., Pronin S.P. **Investigation of information signals in the navigation system.** * The paper presents the results of a study of the change in rotational speed of the rotor of the navigation system, depending on the change in the ambient temperature, 61-64

followed by its processing. As a result of the study it was found that in the temperature range from 22° C to 0° C there is a natural increase in the mean square deviation parameter. The reasons can be both the viscosity of the oil and the appearance of friction of the rotor against the stator as a result of a change in the ambient temperature

Yakunin A.G. **On the estimation of the parameters of information signals in the conditions of nonstationary noise and interference.** * The article summarizes the development of the E-layer method proposed by the author in 1986. Initially, the method was intended only to evaluate the potential accuracy of optoelectronic measuring devices. Later, however, the development of the ideas embedded in the method made it possible to generalize it to find the interval estimates of the errors in measuring the information parameters of specific signal realizations, and also to find the E-regions of the uncertainty of the parameters of linear and nonlinear functions approximating the signal 64-69

2. Methods and means of measurement

Ganzha V.A., Ganzha A.V., Satyshev A. S. **The rationale for the selection of the magnitude of the apex angle of the conical indenter penetrating instrument – hardness tester.** * The article presents the main results of the analysis of literary and patent sources, conducted in order to justify the angle at the apex of the conical indenter of the penetrative device – hardness tester. The purpose of the new device is an operational field control of the strength of the compacted snow cover of airfields 70-73

Semina J., Nadvotskaya V., Kibyakov I. **Analysis of methods for measuring the reservoir pressure of injection wells during oil production.** * In this article the process of oil formation waterflooding is investigated in order to maintain reservoir pressure when raising oil to the surface. The results of well pressure measurements are interpreted using a variety of techniques that do not take into account the fact that the reservoir pressure values are non-static and vary at different points in the same deposit 73-77

Pervuhin B.S., Yushkova V.B., **Determination of the parameters of the contact of the transducer with different size electrodes.** * The article is devoted to the development of a method for determining the parameters of a contact transducer with different electrode area. In the presence of electrodes in the primary Converter with different area on the electrode boundary with the solution, nonlinear phenomena are manifested. The development of a new 77-81

method will allow to take into account the influence of the impedance components of the electrodes on the measurement result of the specific conductivity of the liquid, which will significantly reduce the systematic error

Yevdulov O. V., Kadirova D. K., Kazumov R. Sh. **Thermoelectric** 81-85

intensifier heat transfer between the flows of media with different temperature. * The paper considers the design of thermoelectric heat transfer intensifier between medium flows, which provides for the possibility of increasing the heat transfer coefficient between them and the solders of a thermoelectric battery. This process is implemented through the use of additional air units that purge air in the gaps between the solders of the thermoelectric battery and the transport areas with media

Gorenkov D.V., Patrushev E.M., Patrusheva T.V. **Research of the** 85-89

application possibility of chaotic oscillator in the bloodstream speed measuring. * In this paper, a method of determining the speed, which based on the ultrasonic Doppler method using a chaotic oscillator for detecting weak signals, is considered. Speed measuring circuit has been modeled in MATLAB/Simulink with preliminary calculation of optimal parameters

Semina J., Nadvotskaya V., Kibyakov I. **Development of methods** 89-92

for measuring reservoir pressure of injection wells. * The paper presents a method for estimating reservoir pressure based on the method of electrohydraulic analogies. The technique takes into account the non-stability of the reservoir pressures at different points of the same Deposit. The necessity of installation of additional equipment in the wellhead valve Assembly of the injection well is revealed

Khmelev V.N., Barsukov R.V., Ilchenko E.V., Genne D.V., 93-98

Abramenko D.S. **Analyzer of impedance characteristics of ultrasonic oscillatory systems.** * The article is devoted to the necessity of carrying out measurements of the parameters of the ultrasonic vibrating system with the transducer of the piezoelectric type. It is considered the structure of the device for the measurement of impedance characteristics of the ultrasonic vibrating systems

Miroshnichenko I.P. **Software for processing the results of** 98-102

measurements of the intensity of the optical fields of interference patterns. * A new software is developed for processing the results of measurements of the intensity of the optical fields of interference patterns created by the optical interference meter of small spatial displacements of surfaces of control objects. The proposed software is protected by 5 certificates of the Russian Federa-

tion on the state registration of computer programs and can improve the quality of measurement results

Pervukhin, B.S., Sopin V.A. **Control organic liquids by measuring their electrical parameters.** * Existing and proposed methods for controlling common organic liquids by measuring their electrical parameters are considered. The conditions for separate measurement of their specific electric conductivity and relative permittivity are chosen 102-106

Morgunov Yu.Yu., Yakunin A.G. **Investigation of the influence of soil density on the angular velocity of the wheels of a vehicle.** * A set of software and hardware for carrying out experimental studies of the effect of axis rotations on the accuracy of measuring the angular velocity difference between wheels of an pneumatic road roller. This difference is used in the method of monitoring the degree of compaction of the roadbed to correct the measurement result. The results of studies performed on the experimental setup developed are presented. It is shown that, because of unevenness of the road and uneven motion, the magnitude of the errors in the measurement of the angle of rotation reaches critical values 106-111

Konyushkov K.A., Osipov S.P., Shchetinkin S.A. **Simulation of inspction systems of baggage and hand luggage with the recognition of materials.** * The mathematical model of the system of inspection control of luggage and hand luggage with the function of recognizing the materials of objects and their structural fragments by the dual energy method is proposed. On the basis of the model, the algorithm and the image simulation program of the recognition parameter have been developed. For maximum X-ray energy of 160 keV for illustration, the results of numerical modeling of the recognition of materials from boron to copper with mass fractions from 1 to 5 g/cm² are given 112-116

3. Information systems, the measuring and operating complexes

Dultsev D.V., Suchkova L.I. **Algorithm for detecting OLS-patterns in a data stream.** * The article details the algorithm for detecting OLS patterns in real-time mode. The algorithm takes into account temporal shifts in the observation of long sequences in the data stream and takes into account the possibility of overlapping data with triplets of different patterns. It also talks about the very approach to formalizing the description of temporal laws in data, based on a set of simply-connected lists of triplets - OLS patterns 117-122

Khmelev V.N., Nesterov V.A., Shalunov A.V., Slivin A.N. **Development of welding tools for forming expanded sewings by** 122-130

method of pressed ultrasonic welding. * The article is devoted to the development of ultrasonic welding tools, intended for the formation of long welds by the method of press welding. In particular, the solution of the problem of forming a uniform distribution of oscillations along the radiating surface, the length of which exceeds half the wavelength of ultrasonic vibrations in the tool material. The dependences of the amplitude distribution of oscillations along the radiating surface of the welding tool on the tool dimensions are revealed. The carried out experimental researches allowed to confirm the theoretically obtained results

Dmitriev S.F., Ishkov V.V., Grigoryev A.A., Muravlev K.A., Grigoriev A.A., Malikov V.N., Khvostova A.M., Gunkov V.A. 130-134

Research of nanomaterials using super-miniature eddy current transducers. * The nanofilms of alloys (60 nm for the Ce: Nb - 4: 1 composition) were obtained by pulsed vacuum deposition on pre-prepared quartz and Pt-Pd substrates, the specific electric conductivity of the films was determined by the eddy current method, and the optical method was used to study the topochemical reaction of their oxidation with air oxygen at 25 ° C.

Ermakov A.V., Suchkova L.I. **Development of a scripting language pattern of decision-making by autonomous robots.** * The article describes the structure of the behavior pattern of intelligent autonomous robots. The scripting language of the pattern allowed to simplify the creation of rules, which are used in the decision-making system at the team of robots. To test the algorithms, an autonomous robot passed a labyrinth in a software simulator. The efficiency of script linguistic patterns for decision making in navigation is shown 134-139

Efimenko M.V., Tushev A.N. **Research of deep-learning training of neural networks in strategic games.** * This work is about research of using deep neural networks for realization of artificial intelligent. Using of deep neural networks and deep-learning training increases number of winnings comparing with minimax algorithm 140-143

Avdeev, A.S., Baryshev, D.D., Klepikova N.S., Shuang Gao. **Intelligent decision making model for hotel management.** * In the article, we have discussed the question of simulating the operation of a hotel complex with the help of fuzzy inference rules 143-148

Khmelev V.N., Slivin A.N., Abramov A.D., Nesterov V.A., Genne D.V. **The system of positioning of the welding tool for ultrasonic welding of automobile bumpers** * Results of work on development of the ultrasonic device and the system of positioning of 148-155

the hand welding tool for welding of products from the thermoplastics which are applied in an automobile industry are presented in article. Development of specialized system of positioning of the welding tool allowed to provide a precise arrangement of joint welds on a product and also to set the precise size of deepening of the welding tool that allows to increase quality of formation of joint welds, durability, reliability and production characteristics of automobile bumpers

**ИЗМЕРЕНИЕ,
КОНТРОЛЬ,
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ**

**Материалы XIX международной
научно-технической конференции
Том 1**

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 27.09.2018. Формат 60×84 1/16.

Печать – цифровая. Усл.п.л. 10,0.

Тираж 100 экз. Заказ 2018 – __

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